



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Split-Brain –
Sprachdefizite als Folge callosaler Diskonnektion“

Verfasserin

Martina Bauer

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Philosophie (Mag.phil.)

Wien, im März 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 328

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Sprachwissenschaft

Betreuerin:

Ao. Univ.-Prof. Dr. Chris Schaner-Wolles

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, 29.03.2011

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich jenen Menschen Dank aussprechen, deren Unterstützung und Geduld das Gelingen dieser Diplomarbeit möglich gemacht haben.

Insbesondere danke ich Frau Ao. Univ.-Prof. Dr. Schaner-Wolles für die Annahme, Betreuung und Korrektur meiner Diplomarbeit.

Ein großer Dank gilt auch meinen Eltern, Margit und Karl, die nie an meinem Erfolg gezweifelt und dafür gesorgt haben, dass ich bereits vieles erreichen durfte. Meinem Vater danke ich für seinen ansteckenden Enthusiasmus, und meiner Mutter, dass sie mir stets eine gute Freundin war.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich Sigi aussprechen, der mich in meinen Absichten immer bestärkt und nie an mir gezweifelt hat.

Abschließend möchte ich mich bei meinen engsten Freundinnen Katharina und Bettina bedanken, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und deren Motivation und Unterstützung mir immer sicher war. Beide seid ihr meine Anker und ich danke euch für sehr unsere Freundschaft.

Vielen Dank!

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Begründung der Themenwahl	1
1.2 Fragestellung.....	2
1.3 Aufbau und Struktur	2
2. Allgemeines.....	4
2.1 Entdeckung der Hemisphärenasymmetrie	4
2.2 Funktionen und Aufgaben der rechten und linken Hemisphäre.....	6
2.3 Historische Split-Brain Forschung und deren Vertreter	6
2.4 Hemisphären und Sprache	8
3. Corpus Callosum.....	12
3.1 Neurobiologische Aspekte	12
3.1.1 Anatomie	12
3.1.2 Verbindungen des Corpus Callosums.....	13
3.1.3 Funktion.....	14
3.1.4 Entwicklung des Corpus Callosums	15
3.2 Neurolinguistische Relevanz des Corpus Callosums.....	16
3.2.1 Balkenfunktionsmodelle.....	17
3.2.2 Veränderungen des Corpus Callosums bei Bilingualismus	21
3.2.3 Callosale Agenesie.....	24
4. Beweggründe für die Durchführung von Split-Brain Operationen	26
4.1 Epilepsie	27
4.1.1 Einfluss der epileptischen Aktivität auf die Sprachorganisation.....	28
5. Operation	32
5.1 Die chirurgische Trennung der linken und rechten Hemisphäre	32

5.2	Präoperative Testverfahren	34
5.2.1	Wada-Test	34
5.2.2	Elektrische Stimulation einer Hemisphäre	34
5.2.3	Dichotisches Hören.....	35
5.3	Anteriore Callosotomie	37
5.4	posteriore Callosotomie	38
5.5	komplette Callosotomie	40
6.	Split-Brain Patienten	42
7.	Folgen der Split-Brain Operation	44
7.1	Untersuchungsverfahren nach der Operation.....	44
7.1.1	Tachistoskopische Tests.....	44
7.1.2	Informationsart.....	46
7.2	Interhemisphärischer Transfer.....	48
7.3	Sprachliche Leitsymptome callosaler Diskonnektion	53
7.3.1	Diskonnektionssyndrom.....	53
7.3.2	Anomie der linken Hand	54
7.3.3	Verbal-motorische Diskonnektion	54
7.3.4	Agraphie der linken Hand	55
7.3.5	Alexie der linken Gesichtshälfte	58
7.3.6	Prosodie und Syntax	58
7.3.7	Semantik	61
7.4	Zerebrale und callosale Organisation bei einem rechts- dominanten Patienten	63
7.5	Weitere Störungsmerkmale	65
7.5.1	Fehlerhafte intermanuelle Lokalisation	65
7.5.2	Zahlenverarbeitung.....	65
7.5.3	Akalkulie	71

7.5.1	Subtile Beeinträchtigungen	72
7.6	Erklärungen widersprüchlichen Verhaltens.....	72
7.6.1	Cross cuing	73
8.	Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse durch die Split-Brain Forschung	74
9.	Bibliografie.....	80
10.	Anhang	85
10.1	Abbildungsverzeichnis	85
10.2	Zusammenfassung	86
10.3	Abstract	87
10.4	Curriculum Vitae	88

Split-Brain

Sprachdefizite als Folge callosaler Diskonnektion

1. Einleitung

Wie mag es sein, eines Tages aufzuwachen und keine Kontrolle mehr über die eine Hälfte seines Körpers zu haben? Befehle an eine Hand zu senden, die „ignoriert“ werden? Dinge in der Hand zu halten, sie aber nicht benennen zu können? Auf sprachliche Mitteilungen bzw. Anforderungen zu reagieren, ohne überhaupt zu wissen, dass einem eine solche erreicht hat?

Diesen Herausforderungen haben sich Menschen zu stellen, deren Hauptverbindung zwischen rechter und linker Hemisphäre durch einen chirurgischen Eingriff namens „*Split-Brain*“ oder „*Callosotomie*“ unterbrochen wurde oder durch seltene Tumorerkrankungen, die die Verbindungsfasern in ihrer Funktion beträchtlich einschränken.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Corpus Callosum, das die Hemisphären miteinander verbindet. Die komplexe Struktur sowie allgemeine Funktionen dieser Verbindung werden ausführlich besprochen. Läsionen oder Einschnitte in das Corpus Callosum führen zu beträchtlichen sprachlichen Defiziten, auf die detailliert eingegangen wird, um auf die sprachliche Notwendigkeit dieser Hauptverbindung hinzuweisen.

1.1 Begründung der Themenwahl

Im Zuge meiner Ausbildung spezialisierte ich mich im Rahmen der Sprachwissenschaft auf den Schwerpunkt der Psycho-, Patho- und Neurolinguistik. In einigen Lehrveranstaltungen wurde das Thema „Split-Brain“ zwar kurz angeschnitten, jedoch blieb die Auseinandersetzung mit diesem Thema eher oberflächlich. Kurze Zeit später las ich John Rateys Buch „*Das menschliche Gehirn – Eine Gebrauchsanweisung*“, worin das Thema ebenso eher am Rande erwähnt

wird, obwohl ein bedeutender Zusammenhang zwischen dem Corpus Callosum und sprachlichen Kompetenzen beschrieben wird.

Die Motivation zur Bearbeitung des Themas „Split-Brain“ basiert daher auf meiner Neugierde, die Bedeutung des Balkens für die menschliche Kommunikationsfähigkeit auszuarbeiten und darauf hinzuweisen, dass neben den bekannten Spracharealen auch die Verbindung zwischen rechter und linker Hemisphäre eine relevante Rolle in der Patho- und Neurolinguistik einnehmen sollte.

Ich vermute, dass man auf das Split-Brain Phänomen nicht so detailliert eingeht, da man es heute nur mehr selten in Erwägung zieht, einen solchen schwerwiegenden chirurgischen Eingriff durchzuführen.

Doch alleine die Tatsache, dass es sich hierbei um ein seltenes Phänomen handelt, macht dieses Thema nicht weniger relevant.

1.2 Fragestellung

Die vorliegende Arbeit soll im Rahmen einer Literaturrecherche einen Überblick über das Thema „Split-Brain“ geben und folgende Fragestellungen behandeln:

- **Welche Bedeutung kann dem Corpus Callosum bei sprachlichen Prozessen zugeschrieben werden?**
- **Inwiefern sind sprachliche Prozesse nach einer Callosotomie beeinträchtigt?**

Das Ziel dieser Diplomarbeit stellt das Aufzeigen der sprachlichen Dysfunktionen dar, welche nach einem Eingriff auftreten und daher die Relevanz des Corpus Callosums für die menschliche Sprache und für das Sprachverhalten bestätigen.

1.3 Aufbau und Struktur

Nach der Einleitung und den zu behandelnden Fragestellungen wird in Kapitel 2

ein kurzer historischer Überblick über die Split-Brain Forschung sowie deren wichtigsten Vertreter gegeben und die relevantesten Resultate und Erfolge zusammentragen, die den Grundstein für die Bestimmung der Hemisphärenfunktionen gelegt haben. Im darauffolgenden 3. Kapitel werden zunächst die neurobiologischen Aspekte des mächtigsten Fasersystems – das Corpus Callosum –, welches unsere Hemisphären miteinander kommunizieren bzw. kooperieren lässt, vorgestellt. Auf seine anatomische Zusammensetzung, Funktionen und relevantesten Hirnnerven wird hier genauer eingegangen. Anschließend wird die neurolinguistische Relevanz des Corpus Callosums fokussiert. Weiters werde ich eine Abgrenzung zur *callosalen Agenesie* vornehmen, um auf die Unterschiede des Ausmaßes auf die Sprache hinzuweisen. In Kapitel 4 sollen die Beweggründe, einer Split-Brain Operation durchzuführen, genauer erörtert werden. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels wird ein grober Überblick über die ersten Split-Brain Operationen und den daraus resultierenden Problemen gegeben.

Die Vorgehensweisen bei präoperativen Verfahren werden in Kapitel 5 beschrieben. Weiters soll auf den Eingriff näher eingegangen werden, der das Corpus Callosum durchtrennt und so in seiner Hauptfunktion, dem Transfer von Informationen, stark einschränkt. Im Laufe dieses Kapitels werde ich die einzelnen Arten der Callosotomie beschreiben und ihre Unterschiede darlegen.

Jene Split-Brain Patienten, welche in der vorliegenden Diplomarbeit „namentlich“ erwähnt werden, möchte ich in Kapitel 6 vorstellen, um anhand der Hintergrundinformationen dieser Patienten ein besseres Verständnis für die nachfolgenden Kapitel zu ermöglichen.

Kapitel 7 widmet sich den postoperativen Untersuchungsverfahren und vor allem jenen Problemen, mit denen Menschen nach einem Split-Brain Eingriff konfrontiert werden. Der Fokus wird dabei auf die sprachlichen Leitsymptome gelegt, wobei auch Phänomene, welche nicht bei Split-Brain Patienten üblich sind, erläutert und diskutiert werden.

Im letzten Kapitel – Kapitel 8 – fasse ich die relevantesten Punkte der Arbeit zusammen und weise auf Fragen hin, welche sich im Laufe der Arbeit ergeben haben, aber leider aufgrund unzureichender Erklärungen einiger Autoren unbeantwortet bleiben.

2. Allgemeines

In diesem Kapitel werden zunächst allgemeine Entdeckungen und Erkenntnisse erläutert, auf deren Grundlage die Split-Brain Forschung basiert. Weiters werden jene Forscher vorgestellt, deren Experimente und Methoden die neurologische sowie neurolinguistische Forschung einen großen Schritt vorwärts brachten.

2.1 Entdeckung der Hemisphärenasymmetrie

Der Tatsache, dass unsere linke Gehirnhälfte unsere rechte Körperhälfte steuert und umgekehrt, wurde lange Zeit keine Aufmerksamkeit gewidmet, da die meisten Wissenschaftler und Forscher davon überzeugt waren, dass unser Gehirn als eine Einheit bzw. als Ganzheit funktioniert. Aufgrund dessen wurden alle Hinweise, die das Gegenteil bekräftigten, übergangen, obwohl schon Anfang des 19. Jahrhunderts über die Aufgaben und Funktionen der beiden einzelnen Hemisphären spekuliert wurde.

Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gewann der Zusammenhang zwischen Läsionen der linken Hemisphäre und Sprachverlust an Bedeutung.

Man erkannte, dass Schlaganfall-Patienten, dessen linke Hemisphäre beeinträchtigt wurde, sprachliche Defizite sowie auch eine Lähmung der rechten Körperhälfte aufwiesen (Springer & Deutsch; 1995).

Der erste, der den Hemisphären unterschiedliche Funktionen zuschrieb, war Joseph Gall (1758-1828). Gall und einer seiner Anhänger, Jean Baptiste Bouillaud, vertraten die Ansicht, dass die sprachliche Funktion auf den vordersten Teilen des Gehirns beschränkt seien, den Frontallappen (Springer & Deutsch; 1995).

Die Wissenschaftler und Mediziner spalteten sich in zwei Parteien: Jene, die an der ursprünglichen Theorie festhielten, das Gehirn funktioniere als Ganzheit und jene, die von der Lokalisation von Sprache im Frontallappen überzeugt waren und beiden Hemisphären unterschiedliche Aufgaben zuschrieben.

1836 postulierte Marc Dax seine Beobachtung, die auf eine Verbindung zwischen linker Gehirnhälfte und Sprache hindeuteten. Dieser Vortrag wurde von der

medizinischen Gesellschaft in Montpellier weder ernst, noch zur Kenntnis genommen.

Paul Broca (1824-1880), dessen Interesse der Theorie Galls und Bouillauds galt, nahm eine Autopsie an einem Mann vor, der seit Jahren eine rechtsseitige Körperlähmung und einen Sprachverlust aufwies. Dabei entdeckte er Läsionen im linken Frontallappen, die erneut die Bedeutung und die Beweislage für Galls Theorie untermauerten. Diese Belege stießen anfangs auf Desinteresse, lösten jedoch wenige Monate später hitzige Diskussionen aus (Springer & Deutsch; 1995).

Er unterschied zu Beginn seiner Forschungsuntersuchungen zwei Arten des Sprachverlustes:

Die Unfähigkeit des Sprechens basierend auf der Lähmung der dafür verantwortlichen Artikulationsmuskulatur und den Sprachverlust, den er selbst bei den Patienten entdeckte und als „Aphemie“ (heutige Bezeichnung „Aphasie“) bezeichnete.

Im weiteren Verlauf seiner Untersuchungen war es Broca möglich, die beschädigten Areale im Gehirn, die zum Sprachverlust führten, weiter einzugrenzen. Schlussendlich entdeckte er das „Broca Areal“, jenes Areal, das für die Sprachproduktion zuständig ist. 1864 war Broca dann selbst von der Bedeutung der linken Hemisphäre für die Sprache überzeugt.

Er gilt heute als jener Forscher, der den Fokus auf die Gehirnasymmetrie im Zusammenhang mit der Sprache gelegt und gelenkt hat. Die Defizite in der Sprachproduktion und im Sprachverständnis wurden bis dahin nicht auseinandergehalten. Karl Wernicke (1848-1905) entdeckte, dass das Sprachverständnis im Temporallappen der linken Hemisphäre lokalisiert ist (Springer & Deutsch; 1995).

Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurden daraufhin immer mehr neue Entdeckungen gemacht, die die Wichtigkeit der linken Hemisphäre für allgemein sprachliche Fähigkeiten hervorhoben. Die rechte Gehirnhälfte galt als der linken unterlegen und war somit unbedeutend.

Im Laufe der Jahre, insbesondere in den 60ern und 70ern, kamen einige Hypothesen in Bezug auf die Hemisphärenasymmetrie auf.

Springer und Deutsch (1995) berichten von zwei unterschiedlichen Vorstellungen:

In einer linguistischen Hypothese stellt „[...] die Fähigkeit der linken Hemisphäre mit Grammatik und Syntax der Sprache den Kern der linkshemisphärischen Spezialisierung [...]“ dar, während die anderen Auffassungen „[...] davon ausgehen, dass die Spezialisierung der linken Hemisphäre aus ihrer Bedeutung für die motorische Kontrolle der Sprache bzw. für Ausdruck und Verständnis von Symbolen im allgemeinen resultiert [...]“ (Springer & Deutsch; 1995: 302).

2.2 Funktionen und Aufgaben der rechten und linken Hemisphäre

Die Erkenntnisse, die man durch die Diskonnektion des Corpus callosums gewinnen konnte, sind zum Großteil bis heute gültig. Eine dieser Erkenntnisse ist die Funktionalität der beiden Gehirnhälften (Solso; 2005):

Tabelle 1: Funktionen der einzelnen Hemisphären

Quelle: Solso (2005): 61

Funktion	Linke Hemisphäre	Rechte Hemisphäre
Auditives System	Mit der Sprache zusammenhängende Töne	Musik, Töne aus der Umwelt
Räumliche Prozesse	Unbekannt	Geometrie, Sinn für Richtungen, mentale Rotation geometrischer Formen
Somatosensorisches System	Unbekannt	Taktils Erkennen, Entziffern der Brailleschrift
Gedächtnis	Verbales Gedächtnis	Nonverbales Gedächtnis
Sprachverarbeitung	Sprechen, Lesen, Schreiben, Rechnen	Metrische Prosodie
Visuelles System	Buchstaben, Wörter, surrealistische Kunst	Geometrische Muster, Gesichter, realistische Kunst
Bewegung	Komplexe, willkürliche Bewegungen	Bewegung mit räumlichen Mustern

2.3 Historische Split-Brain Forschung und deren Vertreter

Die Funktionen der beiden Gehirnhälften ziehen schon seit Jahrhunderten viele Wissenschaftler an. Ihre Komplexität und ihre nahezu Undurchschaubarkeit üben

eine Faszination auf die verschiedensten Wissenschaften aus. Das Thema „Split-Brain“ kam erst Anfang des 19. Jahrhunderts auf, nachdem man gewisse Grunderkenntnisse über unser Denkorgan erworben hatte (Springer & Deutsch; 1995).

Hierzu ein kurzer historischer Überblick:

Marc Dax war der erste Arzt, der sich mit der linken und rechten Gehirnhälfte beschäftigt hat. Nach zahlreichen Untersuchungen an Unfallopfern vertrat er 1836 die Ansicht, dass beide Hemisphären für die Steuerung unterschiedlicher Funktionen zuständig sind. Weiters lokalisierte er die Sprachfähigkeit des Menschen in der linken Hemisphäre. Im 19. Jahrhundert (1940) war es *Gustav Fechner*, der erste Überlegungen über die Folgen einer callosalen Diskonnektion anstellte.

Kurz darauf, ebenfalls im Jahre 1940, führte *William van Wagenen* die erste Split-Brain Operation am Menschen durch, allerdings ohne den erhofften Erfolg zu erzielen. William van Wagenen ist weniger bekannt, gilt jedoch in Fachkreisen als Pionier der chirurgischen Behandlung von Epilepsie-Patienten (Springer & Deutsch; 1995).

Daraufhin experimentierten *Roger Sperry* und *R. Myers* an Katzen, dessen Resultate 1953 veröffentlicht wurden. Sie erklärten, dass ein funktionierender Transfer zwischen den beiden Hemisphären nur durch die Existenz des Corpus Callosums zu Stande kommen kann. Sie stellten jedoch fest, dass beide Gehirnhälften auch unabhängig voneinander funktionieren, wenn die Verbindung getrennt wird (Springer & Deutsch; 1995).

1960 griffen *Philipp Vogel* und *Joseph Bogen* auf das Split-Brain Phänomen zurück und führten eine vollständige Callosotomie an einem Epilepsie-Patienten durch, die alle Erwartungen übertraf.

Roger W. Sperry (1913-1994), Professor von *Michael Gazzaniga*, bekam 1981 den Nobelpreis für Medizin für die Entdeckung der funktionellen Spezialisierung der Gehirnhälften. Er entwickelte gemeinsam mit Gazzaniga Tests, die sowohl an Tieren als auch an Menschen mit callosaler Diskonnektion angewandt wurden, um Unterschiede und Gemeinsamkeiten festzustellen (Springer & Deutsch; 1995).

Michael Gazzaniga wurde 1939 geboren und ist bis heute einer der bekanntesten Neurowissenschaftler. Er ist Professor der Psychologie sowie Direktor des SAGE Center for the study of Mind an der Universität Kalifornien, Santa Barbara. Einer seiner Schwerpunkte in seinen Forschungsprojekten liegt auf der Untersuchung von Split-Brain Patienten, woraus er gemeinsam mit Sperry neue Erkenntnisse über die Lateralisierung gewonnen hat (Springer & Deutsch; 1995).

Zu welchen Ergebnissen Sperry und Gazzaniga gekommen sind, werde ich im späteren Verlauf der Arbeit genauer erläutern.

2.4 Hemisphären und Sprache

Nachdem die Split-Brain Forschung bestätigte, dass bei den meisten Menschen die Sprachkontrolle in der linken Hemisphäre lokalisiert ist, tauchten neue Fragen auf: Wo genau werden sprachliche Fähigkeiten lokalisiert? Wie gut werden gesprochene und geschriebene Sprache von der unterlegenen rechten Gehirnhälfte verstanden?

Eran Zaidel entwickelte ein Verfahren, das diese Frage weitgehend beantworten konnte. Mithilfe dieser Methode konnten visuelle Reize auf ausschließlich eine Hemisphäre beschränkt werden (Springer & Deutsch; 1995).

Die Vorrichtung besteht aus einer Z-Linse, einer Kontaktlinse, die darauf ausgerichtet ist, nur einer Gehirnhälfte den visuellen Reiz zukommen zu lassen, obwohl die Augen des Patienten sich nach links und nach rechts bewegen können (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2). Eingesetzt wurde dabei Material, das bereits bei Kindern und aphasischen Patienten verwendet wurde. Zaidels Ziel war der Gewinn neuer Erkenntnisse über das Verständnisvermögen jeder Hemisphäre bei Split-Brain Patienten, um

sie anschließend mit den Ergebnissen von Aphasikern und Kindern zu vergleichen



Abbildung 1: Z-Linse
Quelle: Springer & Deutsch (1995): 60

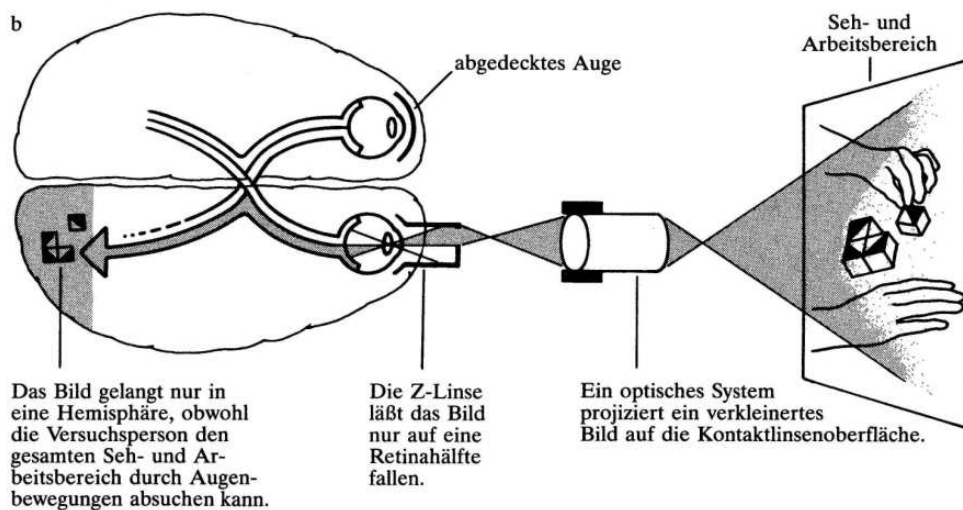


Abbildung 2: Erklärung der Z-Linse
Quelle: Springer & Deutsch (1995): 60

Im auditiven Wortschatztest wurde dem Patient ein Wort zugesprochen, woraufhin der Patient durch die Linse sehen und das Wort einem von drei Bildern zuordnen sollte. So konnte Zaidel ermitteln, „[...] wie genau jede Hemisphäre ein gesprochenes Wort dem entsprechenden visuell dargebotenen Gegenstand zuzuordnen vermochte“ (Springer & Deutsch; 1995: 61).

Auf diese Weise führte er auch den Token-Test mit den Patienten durch. Zaidels Untersuchungsergebnisse zeigten eine weitreichende und ausgeprägte Verständnisfähigkeit der rechten Hemisphäre, dessen Ergebnisse im Wortschatz dem eines unauffälligen Zehnjährigen gleichen (Springer & Deutsch; 1995).

Nicht alle Forscher und Wissenschaftler sind überzeugt von Zaidels Schlussfolgerungen. Michael Gazzaniga erklärt das Sprachverständnis der rechten Hemisphäre, als Folge einer frühkindlichen Schädigung der linken Gehirnhälfte, wodurch sich die rechte reorganisiert habe (Springer & Deutsch; 1995).

Aus der Aphasie-Forschung ist belegt, dass bei Läsionen in den hinteren Teilen der linken Hemisphäre (z.B. Wernicke Aphasie) große semantische Probleme auftreten, während bei der selben Läsion rechtsseitig keine solche Schwierigkeiten nachweisbar sind. Nachdem jedoch Zaidel belegen konnte, dass die rechte Hemisphäre durchaus im Stande sei, Sprache zu verstehen, ist nun die zentrale Frage, wie viel die rechte Hemisphäre zu unseren Sprachfähigkeiten beiträgt.

Split-Brain Patienten sind in der Lage, einige Wörter in der rechten Hemisphäre zu verstehen. Auffällig gutes Verständnis rufen Substantive hervor, die Gegenstände bezeichnen. Das semantische Verständnis hängt vor allem davon ab, ob die Substantive konkret oder abstrakt sind. Wörter wie „Hass“ oder „Harmonie“ werden hauptsächlich linksseitig verarbeitet und verstanden, während „Auto“ oder „Tisch“ auch rechtsseitig erkannt und verstanden werden können. Für unsere Sprachfähigkeiten selbst ist diese Erkenntnis eher unbedeutend, da die linke Hemisphäre auf diesem Gebiet die überlegene ist (Springer & Deutsch 1995).

Sie leitet trotz allem einen Beitrag zu unseren kommunikativen Fähigkeiten, welche ich in diesem Kapitel genauer erörtern möchte.

Nach einer Reihe von Untersuchungen vermuteten die Forscher, dass die rechte Gehirnhälfte eine spezielle Funktion für unsere Kommunikationsfähigkeit aufweist.

Split-Brain Patienten ist es nicht möglich, mit der linken Hand (rechte Hemisphäre) spontan zu schreiben oder den Namen von Objekten schriftlich niederzulegen. Auch die Sprachproduktion der rechten Gehirnhälfte wird als rudimentär bezeichnet.

In vereinzelten Fällen zeigten Patienten minimale expressive Sprachfunktionen, was die Forscher den Auswirkungen nicht kontrollierten Faktoren, subkortikalen Übertragungsprozessen, sowie *cross-cueing* zuschreiben (Springer & Deutsch; 1995). Zaidels Untersuchungen (1990) ergaben, dass auch die phonologische Verarbeitung in der rechten Hemisphäre nur sehr gering ist. Im Zuge eines Diskriminationstests, bei dem Minimalpaare vorgegeben wurden, zeigt sich die rechte Hemisphäre kaum fähig, die phonologische Analyse auszuführen. Das gleiche Ergebnis ergab die Dekodierung von sinnlosen Konsonant-Vokal-Silben bzw. Neologismen, die den visuell lateralisiert vorgelegten Buchstaben zuzuordnen war. Weiters wurde belegt, dass die rechte Gehirnhälfte nicht fähig ist, Wörter laut zu lesen. Dadurch schließt Zaidel (1990), dass die rechte Hemisphäre keine Fähigkeit zur Konversion von Graphemen und Phonemen besitzt.

Ein Indiz dafür zeigt sich in der Schwierigkeit, die richtige Schreibweise eines gesprochenen sinnfreien Wortes zu erkennen und in den Problemen, Reimwörter einander zuzuordnen. Gute Ergebnisse erzielte die rechte Gehirnhälfte im Bereich der lexikalischen Semantik und sie verfügt weiters über einen relativ großen visuellen, sowie auditiven Wortschatz, der jedoch in Bezug auf die Wortart variiert.

Zaidel (1990) kommt nach seiner Untersuchung zu dem Ergebnis, dass das rechtshemisphärische visuelle Vokabular eines Split-Brain Patienten dem eines 7-10 Jährigen entspricht, das akustische hingegen etwa dem eines 12-16 jährigen Menschen.

Auch das Sinnverständnis für unkomplizierte, grammatikalische Sätze ist in der rechten Hemisphäre vorhanden.

Schwierigkeiten ergeben sich beim Verständnis von Syntax und komplexeren grammatikalischen Strukturen, da die isolierte rechte Gehirnhälfte nicht in der Lage ist, einen Zusammenhang zwischen Subjekt, Prädikat und Objekt in einem gehörten Satz herzustellen. Auch die Unterscheidung zwischen Singular, Plural, verschiedene Zeitformen, Aktiv und Passiv weisen schlechtere Ergebnisse in der rechten Hemisphäre auf. Die bewusst stark intonierten Äußerungen (z.B.: Ablehnung oder Zustimmung) können hingegen ohne Probleme unterschieden werden (Zaidel; 1990).

Die Intonation zählt nicht zu den direkten Bestandteilen von Struktur und Inhalten eines Satzes. Trotz allem trägt sie einen bedeutenden Beitrag zu unseren Kommunikationsfähigkeiten bei, da die Intonation unsere Äußerungen mit emotionalen Aspekten versieht. Diese Emotion im sprachlichen Ausdruck kommt vor allem durch die rechte Gehirnhälfte zustande. Rechtshirnige Läsionen verursachen eine monotone, emotionslose Äußerung, deren Ausdruck jede Rhythmik fehlt. Weiters beeinträchtigen Läsionen in der rechten Hemisphäre das metaphorische Verständnis und Betroffene tendieren dazu, Wörter oder Cartoons übertrieben wörtlich zu nehmen. Metaphorische Wendungen wie „Schnee von gestern“ oder „alter Hut“ können nicht mehr im übertragenen Sinn verstanden werden. Bei Cartoons kommt es deshalb häufig zu völlig deplatzierten, nicht nachvollziehbaren Interpretationen und Schlussfolgerungen (Springer & Deutsch 1995/Goldenberg; 2007).

Springer und Deutsch (1995) schließen aus dieser Erkenntnis, dass *„die emotionale Intonation, bestimmte metaphorische Aspekte und einige Merkmale des Humors [] auf rechtshemisphärische Fähigkeiten zu beruhen [scheinen]“* (Springer & Deutsch; 1995: 172).

3. Corpus Callosum

Seit Galen (129-216 n. Chr.) konnten einige Erkenntnisse über die anatomische Struktur des Corpus Callosums gewonnen werden, jedoch blieb die Frage nach seiner Funktion über Jahrhunderte unbeantwortet und unterlag hauptsächlich spekulativer Betrachtung. Viele Wissenschaftler vermuteten, dass das Corpus Callosum dem Zusammenhalt beider Hemisphären diene, andere postulierten darin den Sitz der Seele (Sultan & Gräber; 2006).

Der eigentliche Zweck konnte erst im 20. Jahrhundert ermittelt werden, welchen ich im Laufe dieses Kapitels ausführen möchte. Weiters werde ich einen Überblick über die Anatomie des Corpus Callosums, dessen Entwicklung, sowie auch über seine Verbindungen geben.

3.1 Neurobiologische Aspekte

3.1.1 Anatomie

Das Corpus Callosum (lat. *corpus* „Körper“, *callus* „hart“) ist der dritte Nervenfaserntrakt (Commissura anterior, Commissura hippocampi, basale telencephalische Kommissur), welche auch allgemein als Kommissuren bezeichnet werden und die Verbindung zwischen den Großhirnrinden beider Hemisphären herstellen, zahlenmäßig überlegen und ist daher als die bedeutendste Verbindung zu betrachten. Über das Corpus Callosum verlaufen fast alle Verbindungen der Großhirnrinde (Sultan & Gräber; 2006). Etwa 70-80% des Cortex ist durch das Corpus Callosum verbunden (Asadi-Pooya et al.; 2008).

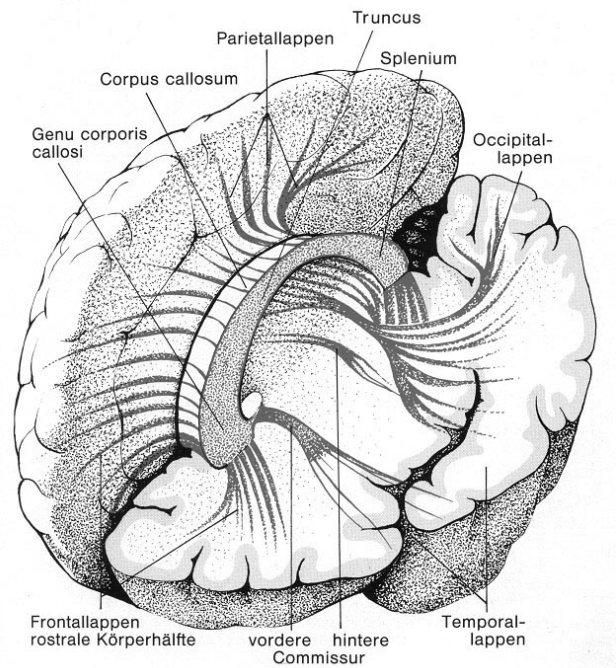


Abbildung 3: das Corpus Callosum und seine Bestandteile

Quelle: http://www.neuro.psychologie.uni-saarland.de/downloads/o6/VL6_14_6_o6.pdf

Das Corpus Callosum, auch Balken genannt, „[...] ist ein Fasersystem, in dem ungefähr 200 Millionen Axone zusammenlaufen. Lange und kurze

Assoziationsfasern verlaufen in derselben Hemisphäre von Lobus zu Lobus und von Gyrus zu Gyrus“(Gertz; 2003: 18).

Es verläuft auf dem Grund der großen Hirnlängsspalte, dient der Koordination und dem Informationsaustausch beider Gehirnhälften und besteht aus folgenden Teilen (Sultan & Gräber; 2006):

- Rostrum (Schnabel)
- Genu (Knie)
- Truncus (Stamm)
- Splenium (Hinterende)

Der Körper des Corpus Callosums ist gekrümmt: der anteriore Teil ist gebogen, geht über in das Genu und endet im Rostrum. Der dichte posteriore Teil läuft im gebogenen Splenium aus, das oberhalb des Mittelhirns liegt. Die Länge des Corpus Callosums vom Genu bis zum Splenium erreicht bei einem Erwachsenen ca. 6,5cm. Die Dichte des erwachsenen Corpus Callosums variiert von ca. 0,5cm bis 1cm, wobei sich der dichteste Teil im Splenium befindet (Asadi-Pooya et al.; 2008).

Unter dem vorderen Teil des Balkens liegt die *Commissura anterior*, die beim Menschen über 3 Mio. Fasern verfügt. Man kann sie in zwei Teile einteilen: das *Crus anterior*, das Hirnstrukturen verbindet, die für olfaktorische Prozesse verantwortlich sind und das *Crus posterior*, das die Verbindung zu den beiden Schläfenlappen herstellt. Unter dem Corpus Callosum befindet sich der *Fornix* (=Gewölbe), ein Faserbündel, das den *Corpora mamillaria* mit dem Hippocampus des Temporallappens verbindet. Oberhalb des Balkens verläuft parallel zu diesem der *Gyrus cinguli* (Sultan & Gräber; 2006).

3.1.2 Verbindungen des Corpus Callosums

Man kann zwischen zwei Arten von Verbindungen unterscheiden:

Zum einen existieren *homotope Verbindungen*, welche symmetrisch von einem Hirnareal zum entsprechenden contralateralen Areal verlaufen (Sultan & Gräber; 2006).

Neben solchen Verbindungen sind auch *heterotope Verbindungen* präsent. Sultan und Gräber (2006) berichten von Experimenten, welche die Annahme erhärten, „[...] dass Areale mit zusätzlichen heterotopen Projektionen Verbindungen etablieren, die oft den assoziativen Verbindungen desselben Hirngebiets innerhalb seiner Hemisphäre gleichen. [...] Insgesamt kann ein gegebenes Kortexareal also nicht nur verschiedene, weit gestreute Kortexareale ipsilateral aktivieren, sondern über kommissuralen Fasern mono- oder polysynaptisch auch die korrespondierenden kontralateralen Areale“ (Sultan & Gräber; 2006: 584).

3.1.3 Funktion

Die Funktion des Corpus Callosums blieb lange Zeit unklar. Wie schon zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, wies man dem Balken das Zusammenhalten beider Hemisphären als Aufgabe zu, einige vermuteten in dieser Verbindung auch den Sitz der Seele. Mittlerweile ist bekannt, dass das Corpus Callosum der Kooperator zwischen der linken und der rechten Hemisphäre ist. Über den Balken wird ein interhemisphärischer Informationsaustausch ermöglicht, d.h. jede Hemisphäre hat Zugang zur anderen, um an Information zu gelangen (Karnath & Thier; 2005).

Das Corpus Callosum dient der Einbindung von Aktivitäten beider Hemisphären und erlaubt ihnen zu kommunizieren. Die Aufgabe des Balkens ist es, Aktivitäten beider Hemisphären auszugleichen, um so eine optimale Einbindung corticaler Aktivität zu erlauben. Sowohl hemmende als auch stimulierende Einflüsse werden über das Corpus Callosum transportiert. Der Cortex dürfte stimulierende und hemmende Aktivitäten generieren, was durch das Corpus Callosum ausbalanciert wird (Asadi-Pooya et al.; 2008).

Auch den einzelnen Segmenten des Balkens können unterschiedliche Funktionen zugewiesen werden, die man durch die Split-Brain Forschung feststellen und zuordnen konnte. Mittlerweile ist bekannt, dass das Corpus Callosum topographisch organisiert ist (siehe Kapitel 3.1.1), was bedeutet, dass der anteriore Teil des Balkens die beiden frontalen Regionen verbindet und posteriore Fasern die posterioren corticalen Strukturen verbinden. Interessant ist, dass die Fasern vom superior Parietallappen und dem okzipitalen Cortex

ausschließlich über das Splenium führen, während frontale Fasern nur durch die rostrale Hälfte des Balkens verlaufen. Weitere Forschungen haben gezeigt, dass der anteriore Teil des Truncus für die Übertragung motorischer Information zuständig ist, während der posteriore Bereich des Truncus somatosensorische Information transferiert. Der Isthmus überliefert auditive und das Splenium visuelle Informationen (Funnell et al.; 2000).

3.1.4 Entwicklung des Corpus Callosums

Das menschliche Gehirn ist bei der Geburt noch unterentwickelt. Erst während des Säuglingsalters und der frühen Kindheit setzen die ersten strukturellen und funktionellen Reifungsprozesse ein. Während dieser Prozesse nimmt das Corpus Callosum deutlich an Größe zu und es finden dramatische Veränderungen statt. Die Anzahl der Neuronenverbindungen legt in den ersten Lebensjahren deutlich zu. Diese Verbindungen unterliegen lebenslangen Veränderungsprozessen. Weiters bildet sich die Myelinschicht, um die Nervenfasern in ihrer Leistungsfähigkeit zu stärken.

Springer und Deutsch (1995) berichten von einer Studie von Witelson und Kigar (1988), die durch intensive Forschung entdeckten, dass der größte Wachstumsschub des Corpus Callosums während der Fetalentwicklung stattfindet. Von der Geburt bis zum 2. Lebensjahr findet ebenfalls ein

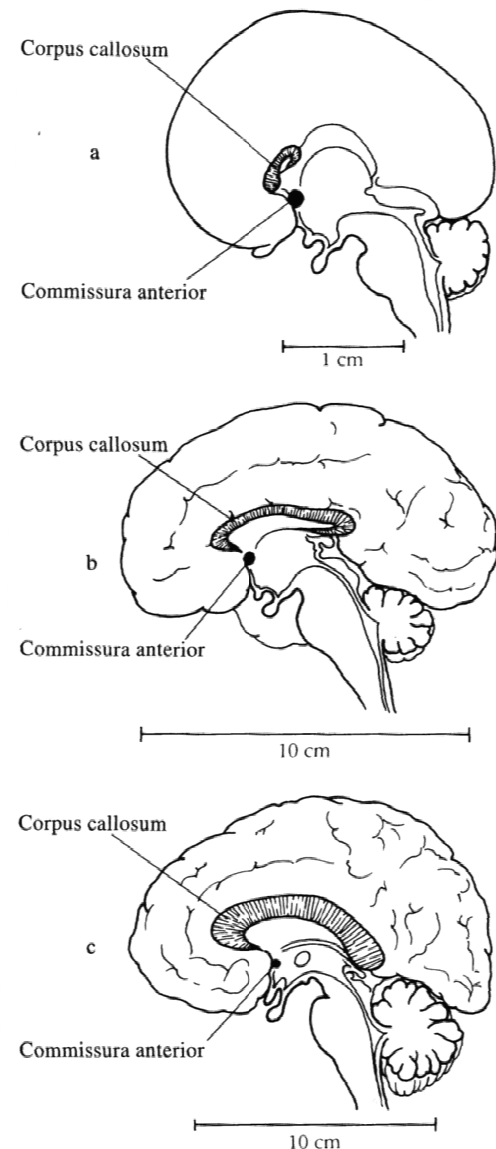


Abbildung 4: Entwicklung des Corpus Callosums

a) Das Corpus Callosum und die Commissura anterior beim Fötus (16 Wochen)

b) Das Corpus Callosum und die Commissura anterior bei der Geburt (40 Wochen)

c) Das Corpus Callosum und die Commissura anterior beim Erwachsenen

Größenwachstum statt, allerdings verläuft dieser signifikant langsamer (siehe Abbildung 4).

Die Autoren vermuten, dass der Balken im Alter von 2-18 Jahren deutlich langsamere Entwicklungsphasen durchläuft, da sonst unser Balken um 300% größer sein müsste, als er tatsächlich ist. Dies kann also als Indiz fungieren, das darauf hinweist, dass im Laufe des Lebensalters keine rapiden Entwicklungsprozesse mehr stattfinden, sondern eher abnehmende (Witelson & Kigar; 1988).

Ebenso wird ein bestimmter Zusammenhang zwischen dem Muster des Gehirnwachstums und der corticalen Entwicklung angenommen. Es wird darauf hingewiesen, dass eine Hirnläsion, die vor dem 1. Lebensjahr auftritt, differenziertere Auswirkungen zur Folge hat, als jene, die danach erlitten wird. Jene Läsionen, die frühzeitig erworben werden, wirken sich häufig negativ auf den Gesamtintelligenzquotienten sowie auf nonverbale Fähigkeiten aus, während später erworbene Hirnverletzungen ein Defizitmuster erzeugen, das vom Ort der Läsion abhängig ist.

3.2 Neurolinguistische Relevanz des Corpus Callosums

Dem Corpus Callosum wird sowohl in der Patholinguistik als auch in der Neurolinguistik - in Bezug auf die sprachliche Relevanz – kaum Bedeutung beigemessen. Trotz der vereinzelt publizierten Publikationen im Bereich der Split-Brain-Forschung, welche die Wichtigkeit dieser Hemisphärenverbindung speziell für die Sprache hervorheben, blieb das Interesse daran in anderen klinisch-linguistischen Themenbereichen aus.

Dass das Corpus Callosum jedoch eine bedeutende Rolle spielt, lässt sich nicht leugnen. Die Sprachverarbeitung eines jeden links-dominanten Menschen erfordert eine Kooperation beider Hemisphären, da die Grammatik eines auditiv perzipierten Satzes in der linken, die Prosodie in der rechten Gehirnhälfte verarbeitet und folglich nur so korrekt verstanden werden kann.

Eine Läsion am Corpus Callosum zieht schwerwiegende Folgen mit sich. Der Betroffene ist weder im Stande, Sätze zu lesen oder Bilder zu benennen, welche ihm im linken Gesichtsfeld präsentiert werden (d.h. Input, der in die rechte, „sprachlose“ Hemisphäre gelangt). Gleiches gilt für die Schriftsprache, da es dem

Betroffenen nicht möglich ist, ihm diktierte Wörter bzw. Sätze mit der linken Hand zu produzieren. Weiters kommt es zur halbseitigen Anomie, da der Patient keine Gegenstände, die er in der linken Hand hält, benennen kann (siehe Kapitel 6). All dies ist ohne intakte Verbindung zwischen den Gehirnhälften nicht möglich, was eindeutig für eine sprachliche Relevanz spricht.

Auch im Bilingualismus zeigt sich die sprachliche Relevanz des Corpus Callosums. Anhand eines bildgebenden Verfahrens (MRT) stellte sich heraus, dass der vordere Teil des Truncus bei zwei- oder mehrsprachigen Menschen im Gegensatz zu monolingualen Menschen deutlich größer ist (siehe Kapitel 3.2.2) (Coggins et al.; 2004). Aufgrund dieser Erkenntnisse sollte dem Corpus Callosum in der Neurolinguistik eine weitaus bedeutendere Rolle beigemessen werden.

In diesem Kapitel werden nun Modelle vorgestellt, die versuchen, den Transfer sprachlicher Information über das Corpus Callosum zu erklären und zu interpretieren.

Weiters wird die Plastizität des Balkens bei Mehrsprachigkeit und anschließend auftretende Sprachdefizite bei einer Corpus Callosum Agenesie besprochen.

3.2.1 Balkenfunktionsmodelle

Bis jetzt wurde der Balken als neurolinguistisch relevant beschrieben, da unsere Kommunikationsfähigkeit durch ein plötzliches Abhandenkommen oder durch Läsionen am Corpus Callosum schwer beeinträchtigt wäre. Wie schon in Kapitel 3.1.3 erwähnt, dient das Corpus Callosum dem Informationstransfer von der einen Hemisphäre zur anderen.

Trotz allem scheinen Callosotomie-Patienten einige Zeit nach der Operation auch ohne das Corpus Callosum zurecht zu kommen. Springer und Deutsch (1995) führten im Zusammenhang der topographischen Organisation den Begriff „*Kopiemodell*“ ein. Dieses Modell soll zum einen erklären, auf welche Art der Balken relevante Informationen bietet und zum anderen eine Erklärung für eine Unentbehrlichkeit einer solchen Schaltverbindung (Springer & Deutsch; 1995).

In den 80er Jahren diskutierte man vier mögliche Funktionen, welche man dem Corpus Callosum zuschreiben könnte (Cook; 1984):

- Diffuse Erregung
- Topographische Exzitation
- Diffuse Hemmung
- Topographische Inhibition

Die ersten beiden Modelle wurden aufgrund unzureichender Erklärung verworfen. Eine diffuse sowie auch topographische Erregung würden dem Corpus Callosum eigentlich nur zwei Fähigkeiten zuschreiben, nämlich die Bedeutung und Duplizierung von dem, was sich in der anderen Gehirnhälfte gerade vorgeht. Auch eine diffuse Hemmung ist als unbedeutend abgetan worden, da es nicht logisch erscheint, anzunehmen, dass der komplexe Faserstrang, der unsere Hemisphären miteinander kommunizieren lässt, die momentan inaktive Hemisphäre ausschaltet. Dies würde bedeuten, dass *„[...] mit der Aktivierung einer Hemisphäre die Gesamtaktivierung der anderen reduziert würde“* (Springer & Deutsch; 1995: 306).

Große Aufmerksamkeit schenkte Cook (1984) daher dem letzten Modell, der *topographischen Inhibition*.

Bei diesem Modell geht Cook (1984) von zwei Grundannahmen aus: Zum einen wird vermutet, dass Aufmerksamkeits- und Erregungsmechanismen sowohl die linke, als auch die rechte Hemisphäre im gleichen Maß aktivieren bzw. beanspruchen. Bei einer Split-Brain Operation bleibt das Haupterregungssystem des Gehirns, das sogenannte *„aufsteigende reticuläre aktivierende System“* (ARAS) komplett erhalten, da es aus subcortikalen Kerngebieten und Bahnen besteht. Zum anderen wird angenommen, dass die Speicherung von verwandten Aspekten eines Gedächtnisinhalts so nahe beisammen liegt, dass es über benachbarte Neuronen möglich ist, auf die verwandten Teilaspekte zuzugreifen.

Nach der Hypothese der topographischen Inhibition bedeutet dies, dass diese topographische Hemmung über das Corpus Callosum in die andere Hemisphäre gelangt, um dort das neuronale Aktivitätsmuster zu unterdrücken, jedoch gleichzeitig angrenzende Neuronen, in denen komplementäre Informationen repräsentiert sind, aktiviert (siehe Abbildung 5).

Während einem Großteil sprachbezogener Aktivitäten, kommt es demnach zu einer Erregung in der linken Gehirnhälfte, welche die jeweiligen Neuronen in der gegenüberliegenden Hemisphäre hemmt, wobei es zur Unterstützung textbezogener Verarbeitung kommt.

„Beim Sprechen des Satzes »Die Katze stürzt sich auf die Maus« würden nicht nur einzelne Wörter verwandte, kontextbezogene Begriffe in der rechten Hemisphäre aktivieren, sondern auch der linkshemisphärische Satz als ganzes einen rechtshemisphärischen Bedeutungszusammenhang hervorrufen“ (Springer & Deutsch; 1995: 308).

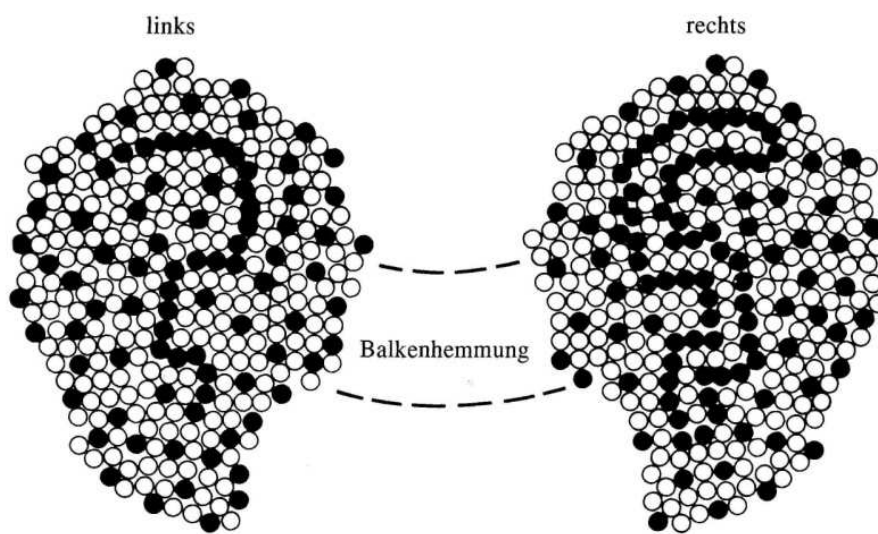


Abbildung 5: Balkenmodell nach Cook (1984)
Quelle: Springer & Deutsch (1995): 307

Genauer gesagt erstellt die rechte Gehirnhälfte ein allgemeineres Bedeutungsmuster von dem, was die linke explizit äußert, wobei der rechten Hemisphäre dabei die explizite Aussage fehlt. Trotz identer Information verfügen beide Hemisphären über zwei unterschiedliche Perspektiven, da das neuronale Erregungsmuster sich in beiden Hemisphären unterscheidet („*spiegelbildliche negative Beziehung*“). Springer und Deutsch sind Anhänger dieser Hypothese und argumentieren, dass die „[...] *Annahme, dass gleichartige, homotope Regionen beider Hemisphären letztlich für komplementäre Aspekte aktiviert werden, [sich] [] durch das stützen [lässt], was man über subtile Sprach- und kognitive Beeinträchtigungen nach rechtshemisphärischen Schädigungen weiß – über Defizite in der Beurteilung*

des Kontextes, im Erkennen von metaphorischen Bedeutungen und im Umgang mit Humor [...]“ (Springer & Deutsch; 1995: 308).

Mohr et al. (1994) argumentieren gegen die Theorie der topographischen Inhibition. Es wird erklärt, dass bei tachistoskopischen Untersuchungen (siehe Kapitel 7.1.1) Versuchspersonen schneller lexikalische Entscheidungen treffen, wenn ein und dasselbe Wort bilateral präsentiert wird, als wenn es nur unilateral dargeboten wird. Die Autoren konkretisieren diese Beobachtung anhand des „Horse-Race“-Modells: Wörter verlaufen über eine strenge Zellverbindung, die beide Hemisphären umfasst. Das heißt das, dass Wortrepräsentationen, die die linke und rechte Hemisphäre erreichen, durch die stimulierenden transcallosalen Verbindungen streng gekoppelt sind. Wenn eine solche hemisphärische Anordnung präsentierter Wörter nur durch Neuronen in einer Hemisphäre stimuliert wird, ist ihre Aktivierung relativ langsam. Wenn, wie bei der bilateralen Repräsentation, Verbindungen zweimal gleichzeitig stimuliert werden, kann die räumliche Summierung des stimulierten post-synaptischen Leistungsvermögens in vielen Neuronen der Verbindung auftreten, sodass sich der Aktivierungsprozess beschleunigt, was wiederum zu einer schnelleren Wortverarbeitung führt (Mohr et al.; 1994).

Dies führt zu einer weiteren möglichen Erklärung: *bilaterale Steigerung*: Es kann keine bilaterale Steigerung auftreten bzw. erwartet werden, wenn ein Objekt keine verlaufenden Zellenverbindungen hat. Das trifft bei Nicht-Wörtern zu, wie zum Beispiel „wak“ oder „noif“, welche nur selten von Patienten wahrgenommen werden, deren Muttersprache Englisch ist (Mohr et al.; 1994).

Wenn transcallosale Verbindungen bei der Wortverarbeitung eine Rolle spielen, muss die Callosotomie zu einem Defizit führen (Mohr et al.; 1994).

Das *Kooperations-Modell* besagt, dass durch eine Callosotomie transcallosale Verbindungen der interhemisphärischen Zellenverbindung zerstört werden, sodass keine wortspezifische bilaterale Steigerung auftreten kann (Mohr et al. 1994).

In Kapitel 7.3 meiner Arbeit werde ich diese Modelle anhand mehrerer Studien überprüfen und diskutieren.

3.2.2 Veränderungen des Corpus Callosums bei Bilingualismus

Coggins et al. (2004) untersuchten die Variabilität des Corpus Callosums speziell bei Bilingualismus und beim Fremdspracherwerb. Beim Fremdspracherwerb und bei der Anwendung von Fremdsprachen unterläuft das menschliche Gehirn einer corticalen Adaption. Dadurch kann sich das Gehirn mehrerer Sprachen bedienen. Dies geschieht entweder

- durch das Ergänzen von bereits vorhandenen Regionen, die für die Muttersprache benutzt werden oder
- durch das Kreieren neuer kortikaler Netzwerke in angrenzenden Bereichen des Cortex (Coggins et al.; 2004).

Abgesehen davon, wie der Cortex diesen Kreislauf organisiert, um mehrere Sprachen zu bearbeiten, sind alle non-reflexiven Verhaltensweisen, darunter auch Kognition und Kommunikation, Resultat einer unbewussten und übergangslosen Koordination von Aktivität zwischen beiden Hemisphären durch die zerebralen Kommissuren (Coggins et al.; 2004).

Veränderungen in der Balkenstruktur sind meistens bedingt durch eine Reihe von klinisch-pathologischen Erkrankungen, unter anderem auch mit ADHS, Autismus, Dyslexie, Epilepsie, Multiple Sklerose, Tourette Syndrom und Schizophrenie (Coggins et al.; 2004).

Die Autoren beziehen sich auf frühere Studien, die bereits die extreme Variabilität der Balkenstruktur belegen. Studien sowohl an Tieren und Menschen haben gezeigt, dass der zerebrale Cortex variabel ist.

In der Studie von Coggins et al. (2004) wurde der Einfluss ermittelt, den die Anwendung sprachlicher Prozesse auf die kortikale Aktivierung ausübt. Das Corpus Callosum weist auch unter beeinflussenden Faktoren – wie Umwelt und Genetik – eine Formbarkeit auf. Diese Resultate beweisen die funktionale Signifikanz der Balkenvariabilität in Bezug auf bilinguale Fähigkeiten. Obwohl man die Sprache bei über 90% der Bevölkerung in der linken Hemisphäre lokalisieren kann, bindet Sprache Informationsprozesse zwischen beiden

Hemisphären ein. Coggins et al. (2004) beziehen sich auf Studien, welche belegen, dass Sprache für diverse Beeinträchtigungen anfällig ist, wie zum Beispiel bei Verletzungen bestimmter Hirnstrukturen. Die Beziehung zwischen der Variabilität des Corpus Callosum und Sprache wurde noch nie zum Thema neurolinguistischer Studien gemacht, obwohl eine Balkenveränderung bei Dyslexie schon Ende des 20. Jahrhunderts belegt wurde (Coggins et al.; 2004).

Funnell et al. (2000) konnten belegen, dass das Splenium Wortinformationen transportiert. Diese Wortinformationen sind auf visuell orthographische Darstellungen, Reime und ganze Wörter beschränkt.

Belege, dass das Corpus Callosum eine Rolle bei Kognition und bei Unterschieden in der Balkenstruktur zwischen mono- und bilingualen Individuen spielt, dürften Erklärungen für die Entwicklung des Zellaufbaus, Organisation und Plastizität bieten (Funnell et al.; 2000).

Ob es tatsächlich Unterschiede in der Struktur des Corpus Callosums von mono- und bilingualen Menschen gibt, wurde von Coggins et al. (2004) anhand von 19 rechtshändigen Untersuchungspersonen erforscht. 12 der Versuchspersonen sind bilingual, die restlichen 7 monolingual.

In dieser Studie wurde das Corpus Callosum in fünf Bereiche gegliedert:

1. anteriores Drittel (Rostrum und Genu)
2. anteriore Truncus
3. posteriore Truncus
4. Isthmus
5. Splenium

Der anteriore Truncus des Corpus Callosums wies einen signifikanten Größenunterschied zwischen mehr- und einsprachigen Testpersonen auf. Dies ist entweder auf die neuen Fasersysteme und dem dementsprechenden Anstieg der Axonszahl, welche sich vermutlich beim Fremd- oder Zweitspracherwerb bilden, oder auf den Anstieg der Myelinisierung zurückzuführen. Jedoch lässt

die Größe der untersuchten Gruppe keine zweifelsfreie Schlussfolgerung zu (Coggins et al.; 2004).

Der Mittelteil des Corpus Callosums ist speziell bei Sprachprozessen beteiligt. Wenn die Volumenzunahme im anterioren Teil des Truncus bei mehrsprachigen Menschen aufgrund der Myelinisierung stattfindet, dann würde die Leistungsgeschwindigkeit zwischen den beiden zerebralen Hemisphären wahrscheinlich die adaptive Verarbeitungsfunktion darstellen, welche mehrere Sprachen aufrecht erhält (Coggins et al.; 2004).

Wenn allerdings die Volumenzunahme in diesem Bereich aufgrund der Steigerung der Axon-Anzahl stattfindet, ist das Corpus Callosum vielleicht beim Schaltmechanismus involviert, der eine Sprache länger davor bewahren kann, mit anderen Sprachen während des Sprechens zu interferieren (Coggins et al.; 2004).

Sowohl mono- als auch bilinguale Testpersonen zeigten in dieser Studie keine Signifikanz, weder im posterioren Bereich des Truncus, noch im Isthmus, was eigenartig ist, wenn man die Rolle der linken perisylvischen Region bei der Sprachaktivität bedenkt und die Beziehung des posterioren Truncus und Isthmus zum perisylvischen Cortex, was man vermutlich erneut dem geringen Probandenumfang zuschreiben kann (Coggins et al.; 2004).

Coggins et al. (2004) schließen aus den Ergebnissen, dass das Corpus Callosum einer Adaption unterläuft, um sich den Verbindungswegen mehrerer Sprachen anzupassen. Callosale Adaption ermöglicht nach Annahme der Autoren einen Anstieg des interhemisphärischen Transfers. Diese Adaption ist – wie oben schon erwähnt – entweder durch erhöhte Myelinisierung oder durch den Anstieg der Faseranzahl bedingt. Es könnte sein, dass die callosale Adaption an den Schaltmechanismus gebunden ist, um die Sprachen während des bewussten Gebrauchs separiert zu halten (Coggins et al.; 2004).

Zusammenfassend konnten Coggins et al. (2004) keinen signifikanten Unterschied in den anterioren callosalen Regionen zwischen mono- und bilingualen Gruppen feststellen, die die Frontallappenregionen verbinden.

Das Resultat dieser Studie spricht dafür, dass Bilingualismus einen großen Einfluss auf die generelle Hirnstruktur und auf das Corpus Callosum im

speziellen hat. Die normale Balkenentwicklung weist darauf hin, dass das Corpus Callosum in der entwicklungsgemäßen kritischen Periode beim Zweitsprachwerb involviert ist (Coggins et al.; 2004).

Die Rolle des Corpus Callosums bei der bilingualen Verarbeitung bedarf noch weiterer intensiver Forschung.

3.2.3 Callosale Agenesie

Die Corpus Callosum Agenesie (*Balkenagenesie*) bezeichnet einen von Geburt an fehlenden Balken (*Balkenaplasie*) oder einen Balkenmangel (*Balkenhypoplasie*). In der Medizin unterscheidet man jedoch nur noch zwischen Corpus Callosum Agenesie und Balkenmangel. In diesem Kapitel verwende ich den Begriff Corpus Callosum Agenesie im Zusammenhang mit dem kompletten Fehlen des Balkens. Weiters möchte ich sowohl sprachliche Benachteiligungen, welche die Balkenagenesie hervorrufen kann, beschreiben, als auch mögliche andere kognitive Defizite kurz erörtern.

Zu den Zeiten, als noch keine bildgebende Verfahren zur Verfügung standen, wurde man nur dann auf ein fehlendes Corpus Callosum aufmerksam, wenn ein Patient eine schwerwiegendere neurologische Störung aufwies, die diverse Behinderungen verursachte. Doch seit der Verwendung von MRT, CT, etc. konnte man Menschen ohne Balken identifizieren, deren kognitives, geistiges und körperliches Entwicklungsniveau altersangemessen war und einen normalen IQ aufwiesen. Eine Agenesie des Corpus Callosums beweist daher in keiner Weise die Relevanz der Kommissuren für die Lateralität und die Sprache (Springer & Deutsch; 1995).

Die früheste Forschung in Bezug auf die Balkenagenesie richtete ihre Aufmerksamkeit besonders der Organisation von Sprache und Gehirn. Den damaligen Ausgangspunkt der Forscher stellte die Entwicklung der Gehirnasymmetrie dar. *„Wenn das Corpus Callosum in der Entwicklung der Hemisphärenasymmetrie eine wichtige Rolle spielt, indem es beispielsweise die gleichzeitige Aktivierung vergleichbarer Regionen der anderen Gehirnhälften kennt, dann sollte man erwarten, dass Sprachfunktionen bei Personen, die kein Corpus Callosum besitzen, beidseitig repräsentiert sind“* (Springer & Deutsch,

1995: 255). Doch nachdem man Agenesie Patienten untersucht hat und sich herausstellte, dass auch bei ihnen eine Handbevorzugung sowie eine nachweisbare Asymmetrie beim dichotischen Hören und eine linkshemisphärische Sprache festzustellen ist, musste die Ausgangsposition verworfen werden (Springer & Deutsch; 1995).

Eine neue Untersuchung verglich die Leistungen von Menschen mit Corpus Callosum Agenesie mit denen einer Parallelstichprobe (gleicher IQ Wert), bei der Agenesie Patienten keine kognitiven Störungen aufwiesen, die dem fehlenden Balken zugeschrieben hätten werden können. Die Resultate zeigen weiters, dass beide Gruppen vergleichbare sprachliche Leistungen und vergleichbare Leistungen im Handlungsteil des Intelligenztests haben (Springer & Deutsch; 1995).

Christine Temple (1993) untersuchte normal intelligente Kinder mit Corpus Callosum Agenesie, um herauszufinden, ob – und wenn ja, welche – kognitiven Beeinträchtigungen vorhanden sind. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass solche Kinder Schwierigkeiten bei der Produktion und Erkennung von Reimen haben. Die Kinder mussten aus vier Wortpaaren jenes auswählen, das sich reimt (Wortflüssigkeitstest) z.B.: fear-beer; fear-feel; fear-four; fear-ken.

Dieses Defizit war kein zu erwartendes, da die sprachlichen Fähigkeiten der Kinder gut ausgeprägt und ihrem Alter angemessen waren und somit keine offensichtlichen Behinderungen vermerkt werden konnten. *„Doch bei Reimaufgaben, die eine explizite Auflösung, Analyse und Synthese des sprachverwandten Materials verlangen, gibt es signifikante Leistungsdefizite“* (Springer & Deutsch; 1995: 256). Nach weiteren Untersuchungen zeigten sich auch Auffälligkeiten beim lauten Lesen von Nicht-Wörtern, die im Alter mit großer Wahrscheinlichkeit bestehen bleiben. Das laute Lesen von sinnvollen Wörtern führte zu keinen Problemen. Temple (1993) vermutet, dass eine Beeinträchtigung des phonologischen Lesens vorliegt, während das lexikalische Lesen normal sei.

Durch die Hinzuziehung weiterer Tests fand Temple heraus, dass diese Beeinträchtigungen auch auf die einfache Differenzierung von Sprachlauten zutrifft. Bei diesen Untersuchungen mussten die Kinder beurteilen, ob das ihnen vorgesagte Lautpaar identisch ist oder nicht (tug-bug). Temple (1993) tendiert

dazu, dass die allgemeine Sprachentwicklung bei Kindern mit Corpus Callosum Agenesie normal verläuft, die lautsprachliche Verarbeitung jedoch beeinträchtigt bleibt.

Weitere kognitive Defizite zeigen sich in bestimmten visuell-konstruktiven Fertigkeiten, die eine koordinierte Abfolge von Bewegungen erfordern (z.B.: Puzzle). Daraus kann geschlossen werden, dass das Corpus Callosum eine signifikante Rolle bei der Entwicklung von kognitiven Fähigkeiten spielt. Die Frage, ob dies wirklich auf alle Agenesie Patienten zutrifft bleibt bisweilen noch unbeantwortet. Nicht-callosale Kommissurenbahnen versuchen das fehlende Corpus Callosum auszugleichen, was zu einer weitgehenden Normalität der Agenesie Patienten führt (Springer & Deutsch; 1995).

4. Beweggründe für die Durchführung von Split-Brain Operationen

In diesem Kapitel werde ich jene Erkrankungen ausführlich behandeln, welche eine Callosotomie zum Teil bis heute notwendig machen. Weiters führe ich die frühesten Split-Brain Operationen an, um zu zeigen, dass es sich um einen äußerst komplexen Vorgang handelt, der viel Zeit brauchte, um in der Epilepsie-Behandlung angemessene Verwendung zu finden.

Anschließend möchte ich präoperative Untersuchungsverfahren vorstellen, welche Aufschluss über die Sprachdominanz als auch über postoperative motorische Ausfälle geben.

Im Corpus Callosum wird das vordere Drittel (das Rostrum) von der Arteria cerebri anterior versorgt, während ein Ast der Arteria cerebri posterior für das hintere Drittel zuständig ist. Im Fall eines Infarktes innerhalb dieses Versorgungsgebiets besteht also die Möglichkeit, dass das Corpus Callosum in Mitleidenschaft gezogen wird. Dies kann auch als Folge von Blutungen nach Schädelhirntraumata oder Gefäßmissbildungen der Fall sein, woraufhin man die Verbindung zwischen linker und rechter Hemisphäre operativ durchtrennt hat (Goldenberg; 2007).

4.1 Epilepsie

1940 berichteten Forscher von ihren Experimenten an Affen, dessen epileptische Krampfantladungen ausschließlich über das Corpus Callosum in die andere Hemisphäre gelangten (Gazzaniga; 1998/ Springer & Deutsch; 1995).

Diese Erkenntnis festigte die früheren Beobachtungen, Epileptiker hätten nach der Läsion am Corpus Callosum durch Tumore oder andere Erkrankungen weniger Anfälle. Daraus ergab sich die „Split-Brain“ Operation bzw. die Callosotomie, die der Epilepsie-Behandlung dienen sollte (Gazzaniga; 1998).

Das Ziel der Callosotomie war von Beginn ihrer Durchführung an das Lindern bzw. die komplette Eliminierung bestimmter Formen epileptischer Anfälle. Diese operative Maßnahme wurde speziell bei therapieresistenten, generalisierten Anfällen, sowie auch bei hartnäckigen Anfällen im Frontallappen, welche nicht adäquat lokalisiert werden konnten, durchgeführt (Springer & Deutsch; 1995).

Heute gilt die Split-Brain Operation eher als palliatives Verfahren, da neu entwickelte Medikamente sowie neuere chirurgische Maßnahmen die Callosotomie größtenteils ersetzt haben (ILAE; 2008).

Erforderlich ist die Split-Brain Operation jedoch noch immer bei bestimmten Erscheinungsformen von Epilepsie, unter anderem beim *Lennox-Gastaut-Syndrom (LGS)*. Hierbei handelt es sich um eine schwerwiegende Epilepsie-Erkrankung, dessen Manifestation zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr stattfindet, also im Kleinkindalter. Das Lennox-Gastaut-Syndrom äußert sich durch das Auftreten mehrerer Anfallstypen, welche Hirnschäden hervorrufen können (ILAE; 2008):

- Tonische Anfälle
Tonische Anfälle sind plötzlich auftretende, kurze Muskelversteifungen an Extremitäten und/oder Rumpf
- Atonische Anfälle
Atonische Anfälle werden charakterisiert durch das plötzliche Erschlaffen der Muskeln.

- Myoklonische Anfälle
Myoklonische Anfälle sind Muskelzuckungen, welche zum Teil mit heftigen Bewegungseffekten einhergehen.
- Tonisch-klonische Anfälle („*Grand-Mal-Epilepsie*“)
Hierbei treten sowohl tonische, sowie auch klonische Anfälle, bei denen es zu rhythmischen Zuckungen des ganzen Körpers kommt, auf.
- Absence („*Petit-Mal-Epilepsie*“)
Absence ist gekennzeichnet durch Bewusstseinsstörung, starrer Blick, plötzliches Innehalten der Tätigkeit und Petit-Mal-Automatismen (Krzovska; 2006).

Bei den ersten vier beschriebenen Anfallstypen kann es zu schweren Stürzen kommen, die zum Teil lebensgefährlich sind. Ein zunehmendes Auftreten solcher Anfälle macht eine chirurgische Diskonnektion unumgänglich.

Durch den Einschnitt in das Corpus Callosum wird die Ausbreitung ichtaler Aktivität, welche epileptische Anfälle hervorruft, erschwert. Diese Maßnahme hat in den meisten Fällen Erfolg.

Asadi Pooya et al. (2008) berichten von einer Studie, aus der hervorgeht, dass 62% der Patienten Verbesserung in täglichen Tätigkeiten aufweisen: Man spricht von einer positiven Veränderung bei Hyperaktivität (93%), emotionalem Wohlbefinden (42%), sozialer Kontakte (36%), Sprachfunktionen (21%) und Gedächtnisfunktionen (17%).

Bei Patienten mit deutlichen Schädigungen von kognitiven und sprachlichen Funktionen konnte eine Verbesserung in der gesamten Intelligenzleistung und in den sprachlichen Fähigkeiten festgestellt werden. Diese Verbesserung kann man wahrscheinlich dem Rückgang der Anfall-Häufigkeit zuschreiben (Asadi Pooya et al.; 2008).

4.1.1 Einfluss der epileptischen Aktivität auf die Sprachorganisation

Faktoren, welche sich auf typische und atypische Sprachlateralisierung auswirken, ziehen einen großen Teil der Aufmerksamkeit auf sich, da sie wichtig sind für das Verstehen der Organisation und Reorganisation von höheren

kognitiven Funktionen sowie auch Auswirkungen, speziell auf die Gehirnochirurgie und die Neurorehabilitation haben. Bei Epilepsie-Patienten ist die Sprachlateralisierung im Vergleich zu gesunden Menschen anders, weil die Ursache fokaler Epilepsien bei vielen Patienten eine morphologische Anomalie ist, die sich entweder entwickelt oder in der frühen Kindheit erworben wird. Ist letzteres der Fall geschieht dies in einem Alter, indem neuronale Plastizität eine Sprachreorganisation erlaubt. Eine solche Anomalie im Gehirn dürfte die normale neuroanatomische Organisation von kognitiven Funktionen beeinträchtigen, wodurch es zur Reorganisation kommt, auch wenn diese Anomalie weit von den Sprachzentren entfernt ist (Janzsky et al.; 2003).

In den letzten Jahren fokussierte die Forschung die Sprachlateralisierung bei Epilepsie-Patienten. Diverse Studien belegen, dass frühe Verletzungen und Schädigungen, die sich in den Sprachzentren befinden, atypische Sprachlateralisierung hervorruft, welche oft mit Linkshändigkeit einhergeht. Eine interhemisphärische Wiederherstellung von Sprachfunktionen in der rechten Hemisphäre konnte bei Vorschulkindern, welche Verletzungen in der linken Hemisphäre aufweisen, beobachtet werden. Nach dem 5. Lebensjahr, tritt eine contralaterale Reorganisation nach Gehirnverletzungen weniger häufig auf (Janzsky et al.; 2003).

In der Studie von Janzsky et al. (2003) wurden Patienten mit Medialer Temporallappen Epilepsie (MTLE) untersucht, welche ausschließlich an hippocampaler Sklerose (HS), aber keinen anderen krampfartigen Läsionen leiden. Bei MTLE mit HS kann der Ausbruch des Anfalls in den mesiotemporalen Strukturen lokalisiert werden. Dies ist ein einzigartiges, homogenes Epilepsie Syndrom. Weiters ist es die am häufigsten auftretende Form chronischer fokaler Epilepsie (Janzsky et al.; 2003).

In dieser Studie soll geklärt werden, ob zeitliche Faktoren, Geschlecht, Lateralisierung oder die epileptische Aktivität für die Entwicklung von atypischer Sprache verantwortlich ist (Janzsky et al.; 2003).

Man untersuchte 184 Erwachsene, wovon 85 männlich und 99 weiblich waren. Die Patienten waren zwischen 19 und 59 Jahre alt (Durchschnitt 35,2 Jahre). 102 Patienten sind linksseitig von der MTLE betroffen, die restlichen 82 rechtsseitig.

125 dieser Patienten unterzogen sich noch vor ihrem 1. Lebensjahr einer Callosotomie, wobei 74% nach der Operation keine Anfälle mehr bekamen.

Anhand des Wada-Tests (siehe Kapitel 5.2.1) untersuchten die Janzsky et al. (2003) die Sprachfunktionen der dominanten Hemisphäre von 100 Patienten. Nachdem das Natriumamobarbital injiziert wurde, wurden die Patienten aufgefordert, Objekte, Bilder, Zahlen und Farben zu benennen, sowie Sätze und Wörter laut vorzulesen.

Während der Betäubung der sprachdominanten Hemisphäre kommt es für gewöhnlich zu einem anfänglichen Spracharrest, Wortfindungsproblemen, Paraphrasien, globaler Aphasie oder flüssiger Aphasie (Janzsky et al.; 2003).

Janzsky et al. (2003) vergaben bei den verbalen Aufgaben bis zu 5 Punkte für komplexe Sprachaufgaben, abhängig vom Schweregrad der Sprachstörung: 0= keine Reaktion, 1= unverständlich, 2= spontane und inkorrekte Wiedergabe, Neologismen und Paraphrasien, 3= spontane inkorrekte und korrekte Wiedergabe, 4= korrekte Selbstkorrektur, 5= unbeschadet.

Bei einfachen Aufgaben („*Zeigen Sie Ihre Zunge*“) wurde nur ein Punkt vergeben, da diese Aufgaben ausschließlich das Sprachverständnis prüfen. Wenn eine vollständige unauffällige Sprachproduktion der untersuchten Hemisphäre vorliegt, können maximal 104 Punkte erreicht werden (Janzsky et al.; 2003).

Von den 100 Patienten, die sich dem Wada-Test unterzogen, konnte bei 75,9% jener Patienten, welche eine linksseitige MTLE aufweisen, Sprache in der linken Hemisphäre lokalisiert werden und bei allen (100%) Patienten mit rechtsseitiger MTLE. In dieser Studie konnte demnach kein Patient mit rechtsseitiger MTLE gefunden werden, der eine atypische rechtsseitige Sprachdominanz aufweist.

Atypische Sprachlaterisation geht einher mit Linkshändigkeit: 10 von 20 Patienten mit atypischer Sprachdominanz sind Linkshänder, während von 80 linksdominanten Patienten nur 7 Linkshänder waren (Janzsky et al.; 2003).

In dieser Studie wurden 63 der 100 Patienten als linksdominant identifiziert, während bei 20 weiteren Patienten eine rechtsseitige oder bilaterale Sprachdominanz festgestellt werden konnte.

Janzsky et al. (2003) konnten aus dieser Studie folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Atypische Sprachdominanz zeigt sich nur bei Patienten mit linksseitiger MTLE (24%)
- Weder das Alter, in dem die ersten Epilepsie-Anfälle auftreten, noch das Geschlecht konnten mit atypischer Sprachrepräsentation bei linksseitiger MTLE in Verbindung gebracht werden.

Die ausübenden Sprachregionen und perzeptiven sekundären auditiven Zentren zeigen im Vergleich zu der contralateralen homologen Gehirnregion eine morphologische Asymmetrie zugunsten der linken Hemisphäre. Diese Asymmetrie zeigt sich schon im letzten Schwangerschaftsdrittel und weist keine Veränderung im höheren Alter auf. Das weist darauf hin, dass die Ausbildung der unterschiedlichen Funktionen der rechten und linken Hemisphäre einer strukturellen Asymmetrie folgt, die immer voreingestellt ist (Janzsky et al. 2003).

Dehaene-Lambertz et al. (2002) fanden heraus, dass die Vorstufe der erwachsenen kortikalen Sprachareale bei Kindern vor Beginn der Sprachproduktion am stärksten aktiv sind. Sie untersuchten 3 Monate alte Babys mittels fMRI und beobachteten die Hirnaktivität während der Sprachperzeption. Die Ergebnisse zeigen, dass die links lateralisierten Hirnregionen – ähnlich jenen von Erwachsenen – bei Kindern immer während der Sprachperzeption aktiv sind (Dehaene-Lambertz et al.; 2002).

Trotz der starken linksseitigen Prädisposition der Hirnmorphologie und Funktion, weisen Chiron et al. (1997) darauf hin, dass die rechte Hemisphäre bis zum 3. Lebensalter die dominante Hemisphäre ist unter Beachtung des Broca und Broca-homologen Areal, sensorischer Cortex und den temporoposterioren Regionen. Nach dem 3. Lebensjahr verändert sich die rechte Dominanz zur linken. Dieser Vorgang dürfte mit 4-8 Jahren abgeschlossen sein (Chiron et al.; 1997). Andere Autoren (Marcotte & Morere; 1990) beobachteten hingegen, dass Kinder im Alter von 8-12 Jahren einen signifikanten rechtshemisphärischen Beitrag zur Sprachproduktion leisten als Erwachsene.

Janzsky et al. (2003) vermuten, dass bei Patienten mit fokaler Epilepsie auch die epileptische Aktivität selbst, interiktale und iktale Aktivität, für die Sprachreorganisation verantwortlich sein könnte. Patienten mit linksseitiger Gehirnverletzung, deren Sprachzentren sich nach der Verletzung in der rechten Hemisphäre gebildet haben, können nur wenig verbale kognitive Leistungen erbringen (Janzsky et al.; 2003).

5. Operation

Zu Beginn der Split-Brain Operationen wurden die bedeutenden interhemisphärischen Kommissurensysteme unterbunden, um starken epileptischen Anfällen vorzubeugen. Die Einschnitte der Kommissuren im Hippocampus, des Corpus Callosums und der vorderen Kommissurenfasern sowie des Fornix (=Struktur des limbischen Systems im Großhirn, verbindet den Hippocampus mit dem *Corpus mamillare*). In dieser *Commissura fornicis* verbinden Nervenfasern die linke und rechte Hemisphäre. Sie spielt eine große Rolle beim Speichern von Gedächtnisinhalten im Kurz- und Langzeitgedächtnis.

Diese Operationen hatten Erfolg, wurden aber von einer hohen Komplikationsrate begleitet. Später wurde nur mehr das Corpus Callosum, manchmal auch die hippocampalen Kommissuren durchtrennt. In den 1970er Jahren galt *Donald Wilson* als Pionier der Split-Brain Forschung. Er stellte fest, dass eine Abschwächung der Anfälle, trotz der Unversehrtheit einiger Kommissurenbahnen, stattfand (Springer & Deutsch; 1995).

5.1 Die chirurgische Trennung der linken und rechten Hemisphäre

Bei der Split-Brain Operation (auch *Callosotomie* genannt) erfolgt eine Trennung einiger Kommissuren (=Nervenfaserbündeln), die die Verbindung zwischen rechter und linker Hemisphäre herstellen. In den frühen 40er Jahren führte man diese Operation an 20 Patienten durch, wodurch Forscher und Wissenschaftler die Gelegenheit nutzten, neue Erkenntnisse über die Bedeutung und Funktion des Corpus Callosum zu gewinnen (Springer & Deutsch; 1995).

Nach der ersten Split-Brain Operation, die von William van Wagenen (1897- 1961) durchgeführt wurde, wies der Patient sehr wenig Defizite sowohl in der Motorik als

auch in der Wahrnehmung auf. Problematisch war nur, dass der Linderungsgrad der Epilepsie stark variierte. In einigen Fällen konnte kaum eine Abschwächung der Krampfanfälle nachgewiesen werden.

Springer und Deutsch (1995) erklären diese Variabilität folgendermaßen:

- a) Individuelle Unterschiede der Epilepsie-Formen
- b) Abweichungen im operativen Eingriff

Van Wagenen stellte nach diesen erfolglosen Ergebnissen die Behandlung ein.

In den 50er Jahren nachdem Sperry und Myers dem Corpus Callosum viel Zeit und Aufmerksamkeit gewidmet hatten, lösten sie das Rätsel, das die Wissenschaft nach so vielen Lösungsversuchen aufgeben hatte (Düweke; 2001).

Anhand von Experimenten an Katzen entdeckten sie, dass die Möglichkeit besteht, eine visuelle Information an nur eine Hemisphäre zu leiten, ohne dass die andere Gehirnhälfte auf diese Information zugreifen kann. Bei den meisten höheren Lebewesen steht jedes Auge mit beiden Hemisphären in Verbindung. Führt man jedoch einen Schnitt an der Stelle durch, wo sich die Sehnerven treffen bzw. kreuzen

(=*Chiasma opticum*), kann der Wissenschaftler selbst festlegen, an welche Hemisphäre die visuelle Information von den Augen weitergeleitet wird. Der Sehnerv ist nur mit der Hemisphäre auf derselben Seite verbunden, wenn das Chiasma opticum genau in der Mitte durchtrennt wird. Der linken Hemisphäre werden jene Informationen gesendet, die den linken Sehnerv erreichen, das gleiche gilt für die rechte Gehirnhälfte (Düweke; 2001).

Diese Ergebnisse waren ausschlaggebend für Vogel und Bogen, um die Split-Brain Operation wieder aufzunehmen, in der Hoffnung Epilepsie Anfälle weitgehend zu lindern oder gar eliminieren zu können (Springer & Deutsch; 1995).

Sie vermuteten, dass der Grund für van Wagenes fehlgeschlagenen Callosotomien das Resultat einer unvollständigen Trennung der beiden Hemisphären war.

Nach mehreren Patienten, deren Anfälle als therapieresistent eingestuft wurden, bewahrheitete sich Vogels und Bogens Vermutung. Die Operationen waren

erfolgreich und die Patienten zeigten oberflächlich betrachtet weder Veränderungen der Persönlichkeit, des Verhaltens, noch der Intelligenz (Springer & Deutsch; 1995).

5.2 Präoperative Testverfahren

Bevor man sich einer Split-Brain Operation unterzieht, werden verschiedene Tests durchgeführt, um sprachliche und motorische Ausfälle bzw. Schädigungen, die nach einer Callosotomie auftreten können, abzuschätzen.

5.2.1 Wada-Test

Der Wada-Test wurde von Juhn Wada (*1924) entwickelt und gibt Aufschluss über die sprachlichen und körperlichen Defizite, die nach einer Split Brain Operation auftreten können, sowie über die sprachdominante Hemisphäre.

Einen Tag vor der Operation wird dem Patienten Natriumamobarbital (Natrium-Amytal) durch eine Kanüle in eine der Arteria carotis interna verabreicht. Die Substanz gelangt in eine der beiden Hemisphären, während der Patient auf dem Rücken liegt, beide Arme streckt und wiederholt von 1 bis 20 zählt. Innerhalb von Sekunden zeigt die Substanz ihre Wirkung. Ein Arm erschlafft (jener, die der anästhesierten Hemisphäre gegenüber liegt) und der Patient hört entweder für Sekunden (rechte Hemisphäre) oder für die Dauer der Wirkung auf zu zählen (linke Hemisphäre) (Springer & Deutsch; 1995).

Wird die linke Hemisphäre anästhesiert, so bleibt der Patient je nach Dosis 3-5 Minuten sprachlos. Die Betäubung der rechten Gehirnhälfte wirkt sich nur kurz auf die Sprache aus. Der Patient fängt nach Sekunden wieder an zu zählen und ist fähig, trotz des Ausfalls einer Gehirnhälfte auf Fragen zu antworten.

Durch die Anwendung des Wada-Tests wurde die Seltenheit rechtsdominanter Menschen sowie bilateraler Sprachlokalisation bestätigt (Springer & Deutsch; 1995).

5.2.2 Elektrische Stimulation einer Hemisphäre

In den frühen 30er Jahren entwickelte Wilder Penfield (1891-1976) aus einer Technik zur Entfernung einzelner Hirnbereiche, in denen anomale elektrische Aktivität beginnt, eine Behandlungsmethode, die schweren Epileptikern helfen

sollte, die Krankheit stark abzuschwächen bzw. Epilepsie ganz verschwinden zu lassen (Springer & Deutsch; 1995).

In der Praxis hüteten sich die Chirurgen davor, die Epilepsie auslösenden Bereiche in den sprachdominanten Arealen zu entfernen, da sie diese nicht durch eine Aphasie ersetzen wollten. Es wurde eine Technik entwickelt, die die Sprachregionen des Patienten während der Operation, mit Hilfe einer direkten elektrischen Reizung, genau lokalisierte: Die Stimulationselektrode (Springer & Deutsch; 1995).

Sie wird bei Operationen angewandt, bei denen der Patient bei vollem Bewusstsein ist und sprachliche Äußerungen tätigt, wobei der Chirurg mittels Elektrode jene Gehirnareale stimuliert, welche er zu behandeln gedenkt. Wird die Elektrode innerhalb jenem Areal angesetzt, das für die Sprachproduktion zuständig ist, kommt es zur Sprachlosigkeit („*aphasischer Arrest*“). Die Elektrode kann an beliebigen Hirnbereichen während der Operation angesetzt werden und liefert Aufschluss über die Lokalisierung von sprachlichen Funktionen innerhalb einer Hemisphäre (Springer & Deutsch; 1995).

5.2.3 Dichotisches Hören

Dichotische Hörtests werden in der Split-Brain Forschung sehr häufig gemacht. Dieser kann sowohl vor, als auch nach der Callosotomie angewandt werden, um die Auswirkungen auf die sprachliche Perzeption zu vergleichen. Im Zuge einer Asymmetrieuntersuchung unter Verwendung akustischer Reize entdeckte man, dass bei gesunden Versuchspersonen die rechtsseitig dargebotenen Reize besser identifiziert werden konnten, als linksseitige. Die Versuchspersonen hörten durch Kopfhörer Zahlenpaare von 1 bis 9, wobei links und rechts gleichzeitig unterschiedliche Paare (drei Paare pro Seite) eingespielt wurden. Nach jedem Durchgang mussten so viele Zahlen wie möglich wiedergegeben werden (Kimura; 1961).

Man kam zu dem Ergebnis, „[...] dass Patienten mit einer Schädigung des linken Temporallappens schlechter abschnitten, als Patient mit Schädigung des rechten, doch unabhängig von Läsionsort gaben die Versuchspersonen Zahlen, die dem rechten Ohr dargeboten worden waren, genauer wieder“ (Springer &

Deutsch; 1995: 85). Diese Beobachtung machte man auch bei gesunden Versuchspersonen.

Das dichotische Hören setzt Sprachverständnis und -produktion voraus, das bei linksgeschädigten Patienten beeinträchtigt sein kann, während Patienten mit rechtsseitigen Läsionen diese Aufgaben erfüllen und daher besser abschneiden. Unerwartet war hingegen die Beobachtung der Ohrenasymmetrie (Kimura; 1961):

Jedes Ohr liefert Informationen von allen Rezeptoren an beide Hemisphären. Der wahrgenommene akustische Reiz ist daher sofort in beiden Hemisphären präsent, da jedem Ohr direkter Zugang zu beiden Gehirnhälften gewährt wird, egal ob der Stimulus der rechten oder der linken Hemisphäre dargeboten wird.

Ein monaural dargebotener Stimulus wird sowohl über ipsilaterale, als auch über contralaterale Verbindungen transferiert, wodurch beide Hemisphären die Information bekommen (siehe Abbildung 6: A und B).

Werden jedoch zwei unterschiedliche Stimuli gleichzeitig dargeboten, so werden die ipsilateralen Wege gehemmt und die Reize kommen nur contralateral in jeweils eine Hemisphäre (siehe Abbildung 6: C).

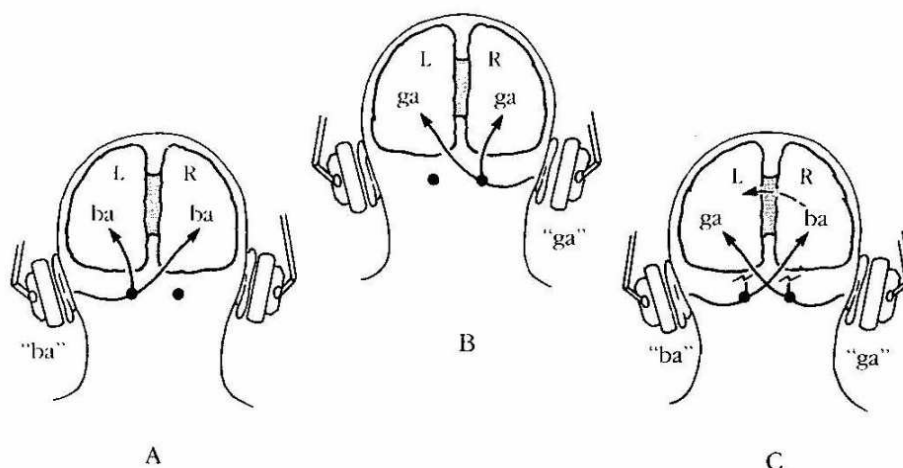


Abbildung 6: Kimuras Modell des dichotischen Hörens

A) monaurale Verarbeitung vom linken Ohr B) monaurale Verarbeitung im rechten Ohr C) dichotische Darbietung
Quelle: Springer, Sally P./Deutsch, Georg (1995): 86

Jener Stimulus, der vom linken Ohr in die rechte Hemisphäre kommt, gelangt über das Corpus Callosum in die linke Hemisphäre, wo der Reiz verstanden und wiederholt werden kann.

Hierdurch kommt es auch bei gesunden Menschen zu einem Vorteil des rechten Ohr, da beim dichotischen Hören der rechtsseitige Reiz direkt in die linke Hemisphäre kommt, während der linksseitig dargebotene nur über einen „Umweg“ in die linke Hemisphäre gelangt (siehe Abbildung 6: C). Die Überlegenheit des rechten Ohrs gegenüber dem linken ist nur minimal (Springer & Deutsch; 1995).

Bei Split-Brain Patienten findet dieser Umweg gar nicht mehr statt, da der Balken durchtrennt und damit keine Verbindung mehr zur anderen Gehirnhälfte aufgenommen werden kann. Die monauralen Reize können über ipsilaterale und contralaterale Projektionen problemlos verstanden werden, da diese Verbindungen subcortikal sind und bei einer callosalen Diskonnektion nicht durchtrennt werden (Kimura; 1961).

Beim dichotisch dargebotenen Reiz hingegen kommt der Stimulus vom linken Ohr in die rechte Gehirnhälfte, die keine sprachlichen Fähigkeiten besitzt und würde nur durch das Corpus Callosum in die linke gelangen, was durch die Diskonnektion nicht möglich ist (Kimura; 1961).

Bei rechtsdominanten Patienten verhält sich die Asymmetrie umgekehrt. Das wurde durch den Wada-Test festgestellt.

Die Ohr-Asymmetrie ist reizabhängig. Während sprachliche Reize am rechten Ohr besser erkannt werden, können Melodien und Akkorde am linken Ohr besser wahrgenommen werden, da diese Art von Stimuli in der rechten Hemisphäre verarbeitet wird (Kimura; 1961).

5.3 Anteriore Callosotomie

In den Stunden und Tagen nach einer anterioren Diskonnektion tritt ein Syndrom auf, das sich auf die Spontansprache auswirkt, das sogenannte Diskonnektionssyndrom. Der Schweregrad dieses Syndroms variiert. Manche Patienten sind vorübergehend stumm, bei anderen ist eine Verlangsamung des Sprachvorgangs zu beobachten. Weitere Komponenten dieses Syndroms sind eine Parese des nicht-dominanten Beins, Greifreflexe der nicht-dominanten Hand, plötzlicher Harndrang, u.a. Für gewöhnlich hält dieses Syndrom einige Monate oder länger an. Es wird angenommen, dass dieses Syndrom entweder aus dem operativen Zusammendrücken der nicht-dominanten frontalen parasagittalen

Areale oder aus der akuten Diskonnektion oder aus beidem resultiert (Reeves & Risse; 1995/Spencer & Spencer; 1995).

Es werden bis heute Gründe diskutiert, warum es zu einer solchen Stummheit kommt. Zum einen wird angenommen, dass die Distraction im motorischen Areal dafür verantwortlich ist, oder auch die Kombination Distraction und Diaschisis von der Diskonnektion der beiden callosalen ursprünglich verbundenen zusätzlichen motorischen Areale. Einige Studien unterstützen diese Diaschisis Hypothese. In diesen Studien wurden Paviane, an denen eine anteriore callosale Sektion vorgenommen wurde, anhand einer Positronenemissionstomography (PET) untersucht. Es wurde ein transienter bilateraler Abfall des corticalen Metabolismus, der prädominant in den anterioren Teilen des Gehirns auftritt, beobachtet. Nach ca. 3 Monaten erholt sich der Stoffwechsel wieder und erreicht wieder den normalen Zustand (Yamaguchi et al.; 1990).

Es kam zu keinen eindeutigen interhemisphärischen Diskonnektionsproblem, nachdem das anteriore Drittel des Corpus Callosums eingeschnitten wurde. Wird jedoch der Einschnitt weiter hinten vorgenommen, nahe dem Splenium oder in das Splenium selbst, kommt es zu auditiven und somatosensorischen Problemen sowie auch zu Schwierigkeiten beim visuellen Transfer (Reeves & Risse; 1995).

Es gibt jedoch Fälle, die darauf hindeuten, dass das eingeschränkte Einschneiden des Corpus Callosums oder Folgen von natürlich auftretenden Läsionen, die den Balken betreffen, einige Funktionen beeinträchtigen, während andere nicht betroffen sind (Reeves & Risse; 1995). Die beste Erklärung der Autoren für diese verschiedenartigen Beobachtungen sind sogenannte „Nachbarbeteiligungen“ corticaler Strukturen. Es gibt kaum Patienten, bei denen das Diskonnektionssyndrom konsequent anhält. Jedoch entwickelten mehrere Split-Brain Patienten dysphasische Schwierigkeiten nach der Operation (sowohl nach anteriorer, posteriorer und kompletter Diskonnektion). Diese Defizite können auf präoperativ bilaterale oder gemischte zerebrale Dominanz von Verbalssprache zurückgeführt werden (Reeves & Risse; 1995).

5.4 posteriore Callosotomie

Nach einem Einschnitt in die posteriore Hälfte des Corpus Callosums kommt es zur interhemisphärischen, sensorischen Diskonnektion. Die dominante und die nicht-

dominante Hemisphäre sind nicht mehr im Stande, sensomotorische oder visuelle Information einander weiterzuleiten. Die Auswirkungen eines posterioren unvollständigen Einschnitts sind gleich nach der OP ersichtlich. Schnelle Repräsentation visueller Stimuli in die nicht-dominante Hemisphäre können nicht benannt werden, da die sprachdominante Gehirnhälfte keinen Zugang zur visuellen Information hat, weil die Hauptroute des visuellen Transfers – das Splenium – durchtrennt wurde.

Würde dieser Einschnitt im rostralen Bereich gemacht werden, würde dies zur taktilen Separierung führen. Das heißt Gegenstände können nicht benannt werden, obwohl keine grundlegenden visuellen oder taktilen Defizite in der nicht-dominanten Hemisphäre vorliegen. Jedoch können Objekte, welche sich hinter einem Bildschirm befinden (z.B. bei einer tachistoskopischen Untersuchung) von der Hand, die von der nicht-dominanten Hemisphäre gesteuert wird, korrekt identifiziert werden, nachdem der Begriff für das gesuchte Objekt bzw. ein Bild des Objekts selbst visuell dargeboten wurde. Die nicht-dominante Hemisphäre kann den gesehenen Begriff oder das gesehene Objekt aber nicht benennen, da der Zugang zur dominanten Hemisphäre nicht mehr existiert (Reeves & Risse; 1995).

Anders verhält es sich bei auditiven Fähigkeiten. Die Bahnen zum auditiven Cortex sind bilateral ausgehend von beiden cochlearen Systemen, sodass jedes Ohr Zugang zu beiden Hemisphären hat. Trotzdem kann eine auditive Diskonnektion nachgewiesen werden. Anhand eines Dichotischen Hörtests (siehe Kapitel 5.2.3) kann gezeigt werden, dass die posterioren Temporallappen durch den posterioren callosalen Einschnitt getrennt wurden (Reeves & Risse; 1995):

Es stellt kein Problem für den Patienten dar, wenn man ihn auffordert, mit der nicht-dominanten Hand eine Aufgabe zu bewältigen. Die dominante Hemisphäre, die allein im Stande ist, den Befehl zu verstehen, kontrolliert vermutlich den nicht-dominanten motorischen Cortex durch das nicht-getrennte anteriore Callosum, das die beiden frontalen motorischen Systeme verbindet. Wenn das anteriore Callosum ebenfalls durchtrennt wäre, wie es bei einer kompletten Diskonnektion der Fall ist, mit Ausnahme anteriore Kommissuren, könnte die dominante Hemisphäre des Patienten, die Befehle nicht mehr korrekt mit der nicht-dominanten Hand ausführen (Reeves & Risse; 1995). Es könnte jedoch mit der nicht-dominanten Hand möglicherweise durch

- a) Nachahmung einer Reaktion durch die dominante Hand, die von der nicht-dominanten Hand befolgt wird oder
- b) durch das Imitieren der Bewegung vom Untersucher

durchzuführen sein (Reeves & Risse; 1995).

Es ist bewiesen, dass die nicht-dominante Hemisphäre die Prosodie eines Befehls erkennen kann und somit versucht, jene cues zu erfassen, die der Untersucher verwendet, um die Aufgabe korrekt durchzuführen (Reeves & Risse; 1995).

5.5 komplette Callosotomie

Eine komplette Sektion wird in zwei Operationen durchgeführt, um zum einen die akute postoperative Morbidität einer verlängerten chirurgischen Prozedur zu verringern und zum anderen, um das Diskonnektionssyndrom zu vermeiden. Wenn es nach der ersten Operation zu keiner Besserung der Anfälle kommt, wird durch einen anterioren Einschnitt in einer zweiten Operation die Callosotomie komplett. Anteriore Sektionen sind wahrscheinlich 50% effektiver, um Epilepsie-Anfälle zu unterbinden als im Vergleich zur kompletten Diskonnektion. Allerdings sind die Folgen einer anterioren Sektion schwerer, als jene der posterioren, da diese zu keinen motorischen Defiziten führt. Nach einem kompletten Einschnitt hat die dominante Hemisphäre keinen Zugang mehr zum motorischen Cortex der gegenüberliegenden Gehirnhälfte, der für die Ausführung bestimmter Bewegungen erforderlich wäre. Jede Hemisphäre ist fähig, einige proximale Bewegungen des ipsilateralen Limbus durch ipsilaterale ungekreuzte motorische Bahnen zu kontrollieren. Die nicht-dominante linke Hand reagiert nicht mehr korrekt auf verbale Aufforderungen, bestimmten Bewegungen zu unternehmen (Reeves & Risse; 1995/Spencer & Spencer; 1995).

Befiehlt der Untersucher dem Patienten eine Bewegung zuerst mit der dominanten Hand zu machen und die gleiche Bewegung mit der nicht-dominanten, wird dies ohne Problem vom Patienten ausgeführt. Die nicht-dominante Hemisphäre, die die Prosodie des Befehls wahrnimmt und die proximale Bewegung des nicht-dominanten Arms kopiert, was sie zuerst bei der dominanten Handbewegung gesehen hat, was den Untersucher glauben lässt, die rechte Hemisphäre hätte verbale Sprachfähigkeiten. Spricht der Untersucher jedoch für die linke Hand einen

anderen Befehl aus, ist die Konsequenz der Diskonnektion deutlich zu erkennen, da die Hand nicht mehr in der Lage ist, angemessen zu reagieren. Es wird eine Kooperation für die vorher gut gelernte zweihändige Aufgabe hergestellt, die wahrscheinlich aus dem Gebrauch von externen Hinweisen (*cues*) resultiert (Reeves & Risse; 1995).

Jüngere Patienten sind in der Tat fähiger, mit hemisphärischer Trennung umzugehen. Der Grund ist wahrscheinlich die größere Plastizität der sensorischen Vernetzung, die durch erhöhten Gebrauch von ipsilateralen projektierenden sensorischen Bahnen im sich noch entwickelnden Gehirn gegeben ist (Reeves & Risse; 1995).

Diese Idee der höheren, kompensierenden Plastizität des jüngeren Gehirns wird durch ein Experiment gestützt, indem neugeborene Split-Brain Ratten untersucht wurden. Die Ratten zeigten eine gute anatomische Kompensation für den Verlust der Hauptkommissur. Dieser Ausgleich wird in der synaptische Dichte ersichtlich, die sich bei den Split-Brain Ratten erhöht. Diese synaptische Dichte bleibt bei normal entwickelten Tieren mit Läsionen unverändert (Reeves & Risse; 1995).

Interhemisphärische Widersprüche bleiben bei einer geringen Anzahl von Patienten ein chronisches Problem. Es kann zu bleibenden Schwierigkeiten in der täglichen Hygiene, beim Einkaufen und Ankleiden kommen. Reeves und Risse (1995) beschreiben einen Patienten, der einen so starken Widerspruch („Antagonismus“) zwischen seinen beiden Hemisphären beibehält, dass seine rechten und linken Extremitäten sich gegenseitig so aggressiv bekämpften, dass es sogar zu körperlichen Verletzungen kam. Die dominante Hemisphäre beschimpft sowohl den linken Arm als auch das linke Bein, so als wären sie Feinde und keine körpereigenen Gliedmaßen. Dieses antagonistische Verhalten führt zu dem Problem, dass man nicht beurteilen kann, ob der Betroffene einen epileptischen Anfall hat, oder sich die Extremitäten bekämpfen (Reeves & Risse; 1995).

Eine von Reeves Patienten entwickelte hingegen binnen wenigen Tagen eine ausgezeichnete Kooperation. Diese Patientin unterzog sich einer kompletten Callosotomie und ist in der Lage, auf verbale Aufforderungen korrekt zu reagieren. Sie legt ihre nicht-dominante Hand in die dominante, um auf die Aufgabe („Zeigen sie mit der linken Hand drei Finger“) korrekt zu lösen. Die nicht-dominante Hemisphäre dieser Patientin befolgt bereitwillig die Anweisungen der dominanten

Hemisphäre, indem sie externe cues so verwendet, wie sie es vor dem chirurgischen Eingriff mittels internen callosal gesendeten cues gemacht hat (Reeves & Risse; 1995). Bei anderen Aufgaben (z.B.: Bildergänzung) erlaubte die dominante Hemisphäre, die der anderen Gehirnhälfte bei visuell-räumlichen Aufgaben unterlegen ist, der nicht-dominanten Hemisphäre bei der Aufgabe zu helfen und zu ergänzen (Reeves & Risse; 1995).

Ein weiterer Patient (linkshändig und -dominant) ist nach kompletter Callosotomie nur mehr im Stande, zufällige Buchstaben oder Ziffern zu schreiben. Er musste lernen, mit der rechten Hand zu schreiben, wobei es keine Seltenheit ist, wenn Patienten, welche vor der Operation Linkshändigkeit aufwiesen, nach einer Callosotomie rechtshändig werden (Reeves & Risse; 1995).

Bei diesen Fällen nehmen Reeves und Risse (1995) an, dass die dominante Hemisphäre sich am contralateralen motorischen System bedient, um zu schreiben. Obwohl diese Patienten nach der Operation Probleme beim Schreiben haben, wies keiner von ihnen andere offensichtliche dysphasische Schwierigkeiten auf. Bei zwei solcher Patienten, der eine 11, der andere 20 Jahre alt, war diese Anteilnahme am contralateralen motorischen System sehr erfolgreich und das Schreiben konnte mit der contralateralen Hand gelernt werden. Linkshändige Patienten können und müssen nach kompletter Callosotomie das Schreiben mit der rechten Hand lernen (Reeves & Risse; 1995).

6. Split-Brain Patienten

Um die Untersuchungsergebnisse, die in späteren Kapiteln dieser Arbeit beschrieben werden, besser nachvollziehen zu können, möchte ich in diesem Abschnitt jene Patienten vorstellen, die immer wieder zu Untersuchungen in der Split-Brain Forschung hinzugezogen werden.

Diese Patienten ermöglichten der Wissenschaft, Erkenntnisse über unsere Gehirnfunktionen zu gewinnen und erlaubten speziell der Neurolinguistik, die menschlichen Sprachfähigkeiten und Theorien darüber in einer neuen Sichtweise zu betrachten.

J.W.

J.W. unterzog sich im Alter von 25 Jahren einer kompletten Callosotomie aufgrund therapieresistenter Epilepsie. Er ist männlich, weist linksseitige Sprachdominanz auf und ist Rechtshänder. Er verkörpert den „typischen“ Split-Brain Patienten (Grabowecky & Kingstone; 2004/Colvin et al.; 2004).

K.O.

Die Patientin K.O. ist bisher eine der wenigen Callosotomie Patienten, bei der man die Sprachfähigkeit in der rechten Hemisphäre lokalisiert hat. Sie ist Linkshänderin und ihr wurde im 9. Lebensjahr das komplette Corpus Callosum durchtrennt (Lutsep et al.; 1995).

V.P.

Die Patientin V.P. ist weiblich und Rechtshänderin. Bei ihr wurde im Alter von 27 Jahren offiziell eine komplette Diskonnektion durchgeführt, wobei spätere MRI Ergebnisse zeigen, dass rostrale und spleniale Fasern ausgespart wurden (Grabowecky & Kingstone; 2004/ Funnell et al.; 2000).

L.B.

Die rechtshändige Patientin L.B. unterzog sich aufgrund renitenter Epilepsie im Alter von 13 Jahren einer kompletten Split-Brain Operation, wobei zusätzlich die anteriore Kommissur und hippocampale Kommissuren durchtrennt wurden. Die extracallosalen Läsionen, welche durch epileptische Anfälle entstanden, sind minimal (Mohr et al.; 1994).

V.J.

V.J. ist weiblich und linksdominant. Im Alter von 41 Jahren wurde bei ihr eine komplette Callosotomie durchgeführt, um epileptische Anfälle zu vermindern. Sie ist Linkshänderin und keine typische Split-Brain Patientin, da man bei ihr

Dissoziationen zwischen gesprochener und geschriebener Sprache beobachten kann (Kapitel 7.3.4) (Baynes et al. 1998).

P.S.

P.S. ist männlich und unterzog sich im Alter von 16 Jahren einer kompletten Callosotomie. Seine epileptischen Anfälle verursachten Läsionen im linken Temporallappen, wobei auch die Sprachzentren betroffen waren. Folglich entwickelte seine rechte Hemisphäre Sprachfähigkeiten, wodurch die Forschung zu neuen Erkenntnissen gelangen konnte (Lenk; 2001).

7. Folgen der Split-Brain Operation

Wie schon öfter erwähnt, werden bei einer Split-Brain Operation alle neuronalen Verbindungsbahnen unterbrochen. Auf diese Weise entdeckten Sperry und Myers, dass die Gehirnhälften auch unabhängig voneinander funktionieren (Springer & Deutsch; 1995). Man fand heraus, dass sich beide Gehirnhälften bezüglich ihres Zuständigkeitsbereichs deutlich voneinander unterscheiden (siehe Kapitel 2.2).

7.1 Untersuchungsverfahren nach der Operation

Das Verfahren, das ich nun vorstellen möchte, testet das Sprachverständnis der beiden voneinander getrennten Hemisphären und ist das am häufigsten angewandte postoperative Verfahren, um Split-Brain Patienten zu untersuchen.

7.1.1 Tachistoskopische Tests

Mittels tachistoskopischen Reizdarbietungen werden dem Patienten eine Reihe von Bildern gezeigt, die je nur in einem Gesichtsfeld eingeblendet werden, während der Patient einen schwarzen Punkt fixieren muss, der sich in der Mitte des Bildschirms befindet. Die Darstellungen werden nur sehr kurz eingeblendet (ca. 100-200 Millisekunden), damit diese Stimuli nur in eine Gehirnhälfte gelangen (lateralisierte Darbietung) und der Patient nicht durch selbst initiierte kurze Augenbewegungen das andere Gesichtsfeld und damit auch die andere Hemisphäre reizt (Springer & Deutsch; 1995).

Die Patienten werden daraufhin aufgefordert, zu sagen, was sie gesehen haben. Die meisten Versuchspersonen nennen jenen Begriff, den sie im rechten Gesichtsfeld gesehen haben, da dieser direkt in die linke und somit in die sprachbefähigte Hemisphäre gelangt. Das links vom Fixationspunkt gelegene Wort wird von der linken Gehirnhälfte nicht wahrgenommen, da der Reiz in die rechte Hemisphäre gelangt und dort nicht sprachlich realisiert werden kann.

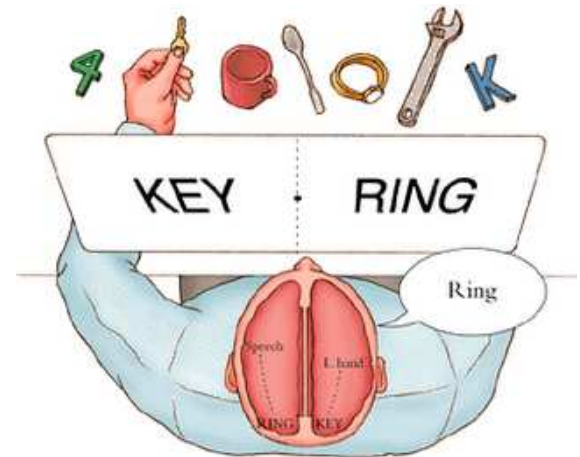


Abbildung 7: Tachistoskopisches Verfahren

Quelle: <http://life-improving.blogspot.com/2007/11/split-brain-theory.html>

Jedoch kann man bei den Split-Brain Patienten beobachten, dass die rechte Hemisphäre den dargebotenen Stimulus im linken visuellen Feld verstehen bzw. erkennen kann. Wenn man den Patienten auffordert mit der contralateralen Hand, die von der nicht-dominanten Hemisphäre gesteuert wird, jenen Gegenstand auszuwählen, der dem zuvor dargebotenen Wort entspricht, wählt er das richtige Objekt aus (siehe Abbildung 7) (Springer & Deutsch; 1995).

Hierzu möchte ich ein weiteres in der Literatur immer wiederkehrendes Beispiel geben:

Eine Split-Brain Patienten, N.G., Hausfrau aus Kalifornien, wird getestet. Es wird rechts vom Fixationspunkt ein Bild eingeblendet – eine Tasse –, die sie auch als eine solche verbal benennen kann. Daraufhin wird ein Bild eines Löffels links vom Fixationspunkt eingeblendet. Auf die Frage, was N.G. gesehen hätte, antwortete sie, sie habe nichts gesehen. Als man sie aufforderte unter dem Bildschirm hindurchzugreifen, wo eine Vielzahl an Objekten greifbar lag und das, was sie gesehen hatte, zu ertasten, holte sie den Löffel hervor. Als sie gebeten wurde, das Objekt, das sie in ihrer linken Hand hielt zu benennen, antwortete sie, es sei ein Stift (Deutsch & Springer; 1995).

Anschließend wurde ebenfalls links vom Fixationspunkt ein Nacktfoto gezeigt, was die Patientin zum Erröten und Kichern veranlasste. Sie antwortete, sie habe nur einen Lichtblitz gesehen (Springer & Deutsch; 1995).

Das tachistoskopische Verfahren ermöglicht, dass die Information nur in eine Hemisphäre gelangt, jedoch ohne Trennung des Chiasma opticums, wie es bei den Experimenten mit den Katzen erforderlich war. Daraus schlossen die Forscher, dass in diesem Fall die rechte Hemisphäre die Information soweit verarbeitet, wie es ihr möglich ist und darauf reagiert, während der linken Hemisphäre der Zugang zum visuellen Reiz verwehrt wird (Springer & Deutsch; 1995).

7.1.2 Informationsart

Die typischen Untersuchungen, die einen Beweis für die Asymmetrie der Hemisphären lieferten, wurden entweder durch auditiv dichotische Reize oder optische Stimuli, die lateralisiert dargeboten wurden, durchgeführt. Bei der Mehrheit der Untersuchten (70-90%) wurde ein Vorteil für die linke Hemisphäre beobachtet. Das heißt, dass die Stimuli, im rechten Ohr bzw. im rechten Gesichtsfeld schneller und besser verarbeitet werden konnten, als im linken Ohr bzw. linken Gesichtsfeld (Springer & Deutsch; 1995).

Bei früheren Arbeiten, die diese rechtsseitige bzw. linkshemisphärische Überlegenheit dokumentierten, wurden hauptsächlich sprachliche Reize verwendet (tachistoskopisch dargebotene Wörter und einzelne Buchstaben, aber auch dichotisch dargebotene Zahlen und Wörter). Auch sinnfreie Silben („pa“, „ka“) und rückwärts am Tonband abgespielte Wörter konnten in der linken Gehirnhälfte besser verarbeitet werden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Bedeutungshaltigkeit der Stimuli irrelevant ist, solange es sich um sprachliche Reize handelt. Sobald Gesichter oder Melodien oder auch Alltagsgeräusche als Stimuli dienten, fand sich ein rechtshemisphärischer Vorteil. Dadurch wurde vermutet, dass sprachliche Reize in der linken Hemisphäre und nicht-sprachliche in der nicht-verbalen rechten Gehirnhälfte verarbeitet werden.

Weitere Untersuchungen interferieren jedoch mit dieser Hypothese, wie beispielsweise *der Informationsverarbeitungsansatz* (Springer & Deutsch; 1995).

Springer und Deutsch (1995) erläutern den Informationsverarbeitungsansatz anhand folgenden Experiments: Eine Versuchsperson lernt eine Liste mit

einzelnen Buchstaben auswendig. Anschließend wird ein Bild eines bekannten Gegenstandes entweder ins linke oder ins rechte Blickfeld projiziert und die Versuchsperson wird aufgefordert, zu bestimmen, ob der Name des gezeigten Gegenstandes mit einem der Buchstaben anfängt, die sie zuvor auf der Liste auswendig gelernt hat.

Das gleiche Experiment wird erneut durchgeführt mit Ausnahme des Bildes, das durch einen Buchstaben ersetzt wird (Springer & Deutsch; 1995).

Beim Überlegen dieser Experimente nahmen die Forscher gemäß der bisherigen Ergebnisse an, dass das Bild-Experiment in der rechten und das Buchstaben-Experiment in der linken Hemisphäre besser und schneller verarbeitet werden würde. Diese Vermutung stellte sich jedoch als Irrtum heraus, da die Ergebnisse, die aus diesem Experiment hervorgingen, genau umgekehrt ausfielen. Der Grund dafür ist relevanter als die Art des Reizes selbst und wurde von den Forschern nicht bedacht, nämlich, was die Versuchsperson selbst mit den Reizen macht (Springer & Deutsch; 1995).

„Im Fall der mutmaßlichen nichtsprachlichen Bilder sollte die Versuchsperson jedes abgebildete Objekt erkennen und sich dann den Anfangsbuchstaben seines Namens ins Bewusstsein rufen – zweifellos eine sprachliche Aufgabe mit analytischen Charakter. Die Einzelbuchstaben andererseits sind von ihrer Art her sprachliche Reize, brauchten aber bei dem Test nicht als solche behandelt werden. Die Versuchsperson konnte die Aufgabe auch leicht so ausführen, dass sie sich einen Buchstaben bildlich vorstellte und ihn dann mit den Bildern der zuvor gemerkten Buchstaben verglich. Theoretisch wäre dies der Versuchsperson sogar möglich gewesen, ohne überhaupt die Namen der dargebotenen Buchstaben zu kennen. Diese Art der Erklärung betont mehr die Aufgabe, die die Versuchsperson auszuführen hat, als die Art des Reizes. Darin spiegelt sich ein Abrücken vom Konzept der typischen links- und rechtshemisphärischen Reize und eine Hinwendung zu einem Modell unterschiedlicher links- rechtshemisphärischer Informationsverarbeitungsform wider. In ähnlicher Weise haben andere Untersucher dafür plädiert, die Unterschiede zwischen den Hemisphären in der Verarbeitung als global (rechtshemisphärische Überlegenheit) versus lokal

(*linkshemisphärische Überlegenheit*) zu kennzeichnen“ (Springer & Deutsch 1995: 90-91).

Diese Ergebnisse bestärken die Vermutung, dass die Art und Weise wie eine Person Informationen verarbeitet, für die Bestimmung der Hemisphärenasymmetrie bedeutend ist.

7.2 Interhemisphärischer Transfer

Funnell et al. (2000) untersuchten die Patientin V.P., von der man ursprünglich annahm, dass sie einer kompletten Callosotomie unterzogen wurde. Wie sich jedoch herausstellte, wurden irrtümlich Fasersysteme in den Bereichen des Spleniums und des Rostrums ausgelassen. Diese Entdeckung erlaubte daher die Ermittlung von spezifischen Funktionen der ausgesparten Fasersysteme.

Frühere Studien mit V.P. weisen nur geringe Evidenz dafür auf, dass die splenialen und rostralen Fasern kompetent genug sind, um den interhemisphärischen Transfer zu unterstützen (Funnell et al.; 2000).

Funnell et al. (2000) führten mit V.P. mehrere Experimente durch, dessen Resultate Aufschluss über die Informationsarten geben sollen, die über die posterioren Fasern transferiert werden können. Die Anzahl der linguistisch relevanten Experimente beläuft sich auf drei, welche ich an dieser Stelle kurz erläutern möchte:

Das erste Experiment soll Erkenntnis über den Transfer von Form, Farbe und Größe geben. Hierfür wurden neun Objekte verwendet, die sich sowohl in Farbe (rot, blau, grün) als auch in der Form (Kreis, Quadrat, Dreieck) unterscheiden. Mit jedem Ziel-Objekt wurden drei Antwort-Paare im gegenüberliegenden Gesichtsfeld

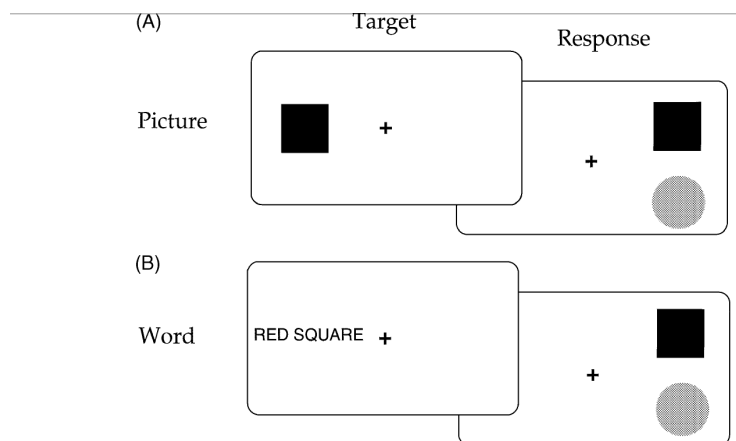


Abbildung 8: Beispiel für Experiment 1:
(A) Zielobjekt im linken Gesichtsfeld, Antwortpaar im rechten Gesichtsfeld; (B) Zielwort im linken Gesichtsfeld, Antwortpaar im rechten Gesichtsfeld
Quelle: Funnell et al. (2004): 923

eingebildet. Nur ein Item pro Antwort-Paar entspricht dem dargestellten Objekt, das andere unterscheidet sich in der Form, Farbe oder beidem (Funnell et al.; 2000).

In einem weiteren Durchgang wurden die Zielobjekte durch Wörter ersetzt, während die Antwortpaare in Formen und Farben dargestellt wurden (siehe Abbildung 8). Die Patientin musste mit der ipsilateralen Hand auf das jeweilige korrekte Item des Antwortpaares deuten.

V.P. lag beim Selektieren, welche Antwort dem jeweiligen Ziel-Objekt entspricht, innerhalb der Zufallsquote. Jedoch schnitt die Patientin signifikant besser ab, als sie die entsprechenden Objekte dem Zielwort zuordnen sollte. Es konnte nicht belegt werden, dass Farbe, Größe oder Form interhemisphärisch transferiert werden, allerdings gibt es Hinweise auf einen eingeschränkten Transfer von Wortinformation (Funnell et al.; 2000).

Ein weiteres Experiment ermittelte, welche Wortaspekte zwischen V.P.s Hemisphären übertragen werden können. Die Patientin musste beurteilen, ob sich Wortpaare, von denen jedes Wort in einem Blickfeld dargeboten wurde, reimen oder nicht. Es gab vier verschiedene Stimuli-Typen:

Typ 1: Minimalpaare

Typ 2: Wortpaare, die sich ähnlich schreiben, sich aber nicht reimen

Typ 3: Wortpaare, welche sich zwar reimen, orthographisch jedoch keine Ähnlichkeit aufweisen

Typ 4: Wortpaare, die sich weder orthographisch, noch akustisch ähneln

Die Patientin musste mit „Ja“ antworten, wenn sich die Wortpaare reimten und mit „Nein“, wenn sie es nicht taten.

Die Leistung, die V.P. erbrachte, lag über der Zufallsquote, da sie in der Lage war, die unterschiedlichen Bedingungen zu differenzieren. Reimte sich das Wortpaar nicht, wenn man es ausspricht, konnte sie das erkennen, obwohl eine orthographische Ähnlichkeit erkennbar war. Reimte sich das Wortpaar, nahm die

Patientin dies ebenfalls wahr, allerdings hauptsächlich bei Minimalpaaren (Funnell et al.; 2000).

Diese Resultate bestärken die Schlussfolgerung von Funnell et al. (2000) aus dem vorherigen Experiment, dass ein Transfer von Wortinformationen stattfindet, in diesem Fall gilt das insbesondere für phonologische Aspekte.

Bei einem weiteren Experiment musste V.P. für ein bestimmtes Wort (das „stumme“ Wort), das am Bildschirm unter zahlreichen anderen Wörtern dargeboten wurde, ein Ersatzwort aussprechen, welches ihr vorher gezeigt wurde. In dieser Studie sollte das Wort „Buch“ durch das Wort „Sofa“ ersetzt werden. Es wurden immer zwei Wörter nur einer Hemisphäre dargeboten (Funnell et al.; 2000).

V.P. war im Stande, die Hälfte der Items mit den richtigen Ersatzwörtern zu versehen. In vier weiteren Fällen produzierte sie das Ersatzwort nicht verbal, sondern äußerte sich durch Gesten, welche ihr Wissen über das Ersatzwort ausdrücken sollte (Funnell et al.; 2000).

Funnell et al. (2000) schließen aus den Resultaten, dass weder Farbe, Form noch Größe transferiert werden. Frühere Forschungen haben gezeigt, dass Wortinformationen nicht subcortical transferiert werden, was Grund zur Annahme gibt, dass diese über V.P.s ausgesparten rostralen und splenialen Fasern übermittelt werden. Ein weiterer relevanter Aspekt dieser Ergebnisse ist, dass nur visuelle Wortinformationen über jene callosalen Fasern weitergeleitet werden können (Funnell et al.; 2000).

In einer weiteren Studie von Mohr et al. (1994) wurde die Patientin L.B. untersucht. L.B. unterzog sich im Alter von 13 Jahren einer kompletten Callosotomie, wobei zusätzlich die anteriore und hippocampale Kommissur durchtrennt wurde. Extracallosale Schäden sind bei dieser Patientin nur minimal vorhanden.

Der Patientin wurden tachistoskopisch 80 Wörter und 80 Nicht-Wörter in allen Variationen der visuellen Präsentationen (linkes Gesichtsfeld, rechtes Gesichtsfeld, beide Gesichtsfelder) für 150ms dargeboten. L.B. wurde aufgefordert per

Tastendruck (sowohl links- als auch rechtshändig) zu entscheiden, ob die Reize sinnvolle oder sinnfreie Wörter darstellen.

Mohr et al. (1994) analysierten ausschließlich ipsilaterale Antworten, da contralaterale Reaktionen schwer zu interpretieren sind. Die Autoren begründen diese Entscheidung durch die generelle Annahme, dass beim Auftreten des chronischen Diskonnektionssyndroms beide Hemisphären ipsilaterale motorische Kontrolle entwickeln. Contralaterale Antworten führen außerdem zu einer relativ hohen Fehlerrate, was die Evaluation der Reaktionszeit erschwert (Mohr et al.; 1994).

L.B. reagierte signifikant schneller, wenn

- sie die Aufgabe mit der rechten Hand löste
- die Stimuli bilateral präsentiert wurden
- und ihr Wörter dargeboten wurden

Musste L.B. die Aufgabe mit der rechten Hand lösen, so spielten die Bedingungen der visuellen Präsentation keine große Rolle, da hier kein Unterschied zwischen bilateralem und unilateralem Angebot ausgemacht werden konnte. Anders bei der linkshändigen Reaktion. Hier beobachtete man eine schnellere Reaktion bei bilateralen Konditionen.

In allen Experimenten war die Reaktionszeit bei Wörtern schneller im Vergleich zu Nicht-Wörtern. Wörter, welche ins rechte Gesichtsfeld (und somit in die linke Hemisphäre) gelangten, führten zu schnelleren Reaktionen im Vergleich zu jenen, die in das linke visuelle Feld präsentiert wurden. Es gibt demnach keinen nachweisbaren Vorteil für die linke Hemisphäre für Nicht-Wörter. Jedoch konnte eine raschere Antwort für das Erkennen von Nicht-Wörtern gemessen werden, wenn das Nicht-Wort bilateral dargeboten wurde und rechtshändig geantwortet werden musste (Mohr et al.; 1994).

Bei Menschen mit intakten interhemisphärischen Verbindungen wird die lexikalische Verarbeitung beschleunigt, wenn beide Hemisphären durch bilaterale Stimulation aktiviert werden. L.B.s Callosotomie verursacht die fehlende Steigerung bei bilateraler Präsentation, wodurch die Theorie des interhemisphärischen Kooperationsmodells (siehe Kapitel 3.2.1) gestützt wird.

Diese Annahme wird durch folgende Beobachtungen bestärkt:

- Reaktionen der linken Hand waren langsam, wenn die Wort-Präsentation nur dem linken visuellen Feld dargeboten wurde und
- Reaktionen der rechten Hand waren bei bilateraler Präsentation von Nicht-Wörtern schneller als die der linken Hand.

Diese Resultate entsprechen den früheren Resultaten aus Experimenten, die darauf hinweisen, dass rezeptive Sprachverarbeitung in der linken Hemisphäre besser (und schneller) erfolgt als in der rechten Hemisphäre (Mohr et al.; 1994).

Dieses Resultat bestätigt, dass L.B. fähig ist, Wortverarbeitung in ihrer isolierten rechten Hemisphäre stattfinden zu lassen. Es gibt zwei mögliche Erklärungen, warum bilaterale Präsentation die Reaktionen der linken Hand verbessert, im Vergleich zur linken unilateralen Bedingung:

Zum einen vermuten die Autoren, dass die lexikalische Information in der dominanten linken Hemisphäre zur Reaktion der rechten Hemisphäre beitragen dürfte. Der mögliche neuronale Mechanismus, der diese Vermutung erklären könnte, ist der subcortikale Transfer lexikalischer Information von der dominanten in die nicht-dominante Hemisphäre (Mohr et al.; 1994).

Evidenz für subcortikale Transfer-Mechanismen bei Split-Brain Patienten konnten aus früheren Untersuchungen gewonnen werden. Generell wird angenommen, dass nur einfache Informationen über subcallosale Verbindungen übertragen werden. Daher wäre es plausibler, dass das, was subcallosal transferiert wird, weder semantische, noch lexikalische Informationen sind, sondern Informationen über motorische Reaktionen (in diesem Fall Information darüber, welche Knopf man zu drücken hat). Eine zweite mögliche Erklärung für den Vorteil der linken Hand bei bilateralen Präsentationen ist die Möglichkeit, dass bilaterale Präsentationen durch die separierte linke Hemisphäre kontrolliert werden, die ipsilaterale motorische Kontrolle über die linke Hand hat (Mohr et al.; 1994).

Die Wort-Überlegenheit ist ein häufiger Effekt und wird sowohl bei normalen, als auch bei Split-Brain Patienten beobachtet. Es sollte jedoch angemerkt werden, dass der Unterschied zwischen Reaktionszeit bei Wörtern und Nicht-Wörtern bei Split-

Brain Patienten gewöhnlich länger dauert, als bei gesunden Personen (Mohr et al.; 1994).

Die relevanteste Erkenntnis aus dieser Studie ist zum einen das Ausbleiben der wortspezifischen bilateralen Steigerung bei L.B. Dieser fehlende Effekt belegt, dass die bilaterale Steigerung bei gesunden Menschen durch intakte transcallosale Verbindungen bedingt ist, was mit der Beobachtung einhergeht, dass interhemisphärische Zellverbindungen mit stimulierten transcallosalen Verbindungen das neuronale Netzwerk für die Wortverarbeitung bilden. Bei gesunden Menschen erlauben diese transcallosalen Verbindungen temporale Summierung in vielen Neuronen. Nach bilateraler Stimulation mit identischen Wörtern kommt es demnach zur bilateralen Steigerung. Dieser Effekt bleibt bei Split-Brain Patienten aus, da durch die Diskonnektion die transcallosalen Verbindungen unterbrochen sind (Mohr et al.; 1994).

7.3 Sprachliche Leitsymptome callosaler Diskonnektion

Im Verlauf dieses Kapitels möchte ich die klassischen Split-Brain Syndrome erklären, dessen Auftreten Folge der kompletten Diskonnektion des Corpus Callosums ist. Die folgenden Erklärungen und Beschreibungen basieren auf Patientenbeispielen, deren Sprachdominanz in der linken Gehirnhälfte lokalisiert wurde.

Am Ende dieses Kapitels erwähne ich dennoch Untersuchungen, die mit einem rechts-dominanten Patienten durchgeführt wurden, um signifikante Unterschiede bzw. Übereinstimmungen darzulegen.

7.3.1 Diskonnektionssyndrom

Das akute Diskonnektionssyndrom tritt häufig nach einem Split-Brain Eingriff auf. Es kommt zur kurzzeitigen Stummheit und zum Kontrollverlust über die linke Körperhälfte. In der Zeit, in der der Patient wieder beginnt, seine linke Hand zu kontrollieren, kommt es zum Alien-Hand Syndrom. Das Alien-Hand Syndrom ist charakterisiert durch widersprüchliche Bewegungen der Hände. Diese Probleme sind für gewöhnlich nur von kurzer Dauer und gehen innerhalb weniger Wochen vorüber. Springer und Deutsch (1995) führen das akute Diskonnektionssyndrom auf zwei mögliche Ursachen zurück: „[...] Die operative

Trennung der Kommissuren und das generelle Trauma der Operation, bei der der Chirurg die rechte Hemisphäre etwas zusammendrücken muß, um an die Nervenbahnen zwischen den Gehirnhälften heranzukommen“ (Springer & Deutsch; 1995: 57) Nachdem das Diskonnektionssyndrom nach wenigen Wochen verschwindet, bedarf es genauerer Untersuchungen, um die tatsächlichen Auswirkungen des Eingriffs zu bestimmen (Springer & Deutsch; 1995).

Bleibt das Diskonnektionssyndrom jedoch langfristig erhalten, wird es zum chronischen Diskonnektionssyndrom. Das Auftreten dieses Syndroms lässt vermuten, dass eine Anpassung an die Folgen der Callosotomie durch Hirnschädigungen verhindert wird, welche über die Zerstörung des Balkens hinausgehen (Springer & Deutsch; 1995). Das chronische Diskonnektionssyndrom konnte bisher nur bei Patienten mit kompletter Callosotomie beobachtet werden (Reeves & Risse; 1995).

7.3.2 Anomie der linken Hand

Wird dem Patienten, ohne dass ihm das Sehen ermöglicht wird, ein beliebiger Gegenstand in die linke Hand gegeben, so ist es ihm nicht möglich, den Gegenstand zu benennen, obwohl die rechte Gehirnhälfte den Gegenstand erkannt hat. Die Unfähigkeit den Gegenstand zu benennen resultiert aus dem Fehlen der sprachlichen Kompetenz in der rechten Hemisphäre und der nicht vorhandenen Verbindung zur linken Gehirnhälfte.

Wie anhand einiger Experimente belegt wurde, sagen die Patienten meist nicht, dass sie den Gegenstand nicht erkennen können, sondern nennen einen anderen Gegenstand. Goldenberg (2007) nimmt an, dass *„[...] die linke Hemisphäre [] anscheinend nicht [merkt], dass ihr die Information von der rechten fehlt. Sie füllt die Lücke mit Konfabulationen“* (Goldenberg; 2007: 155).

7.3.3 Verbal-motorische Diskonnektion

Beauftragt man den Patienten, einzelne Finger der linken Hand zu strecken oder zu bewegen, so zeigen sie oft fehlgeleitete Reaktionen. Die Aufforderung wird zwar verstanden, jedoch kann die linke Hemisphäre die Information nicht an die rechte weiterleiten, die anschließend befähigt wäre, die linken Finger zu

bewegen bzw. zu steuern, da die Verbindung unterbrochen ist (Goldenberg; 2007).

Der Zugang zum motorischen Cortex in der nicht-dominanten Hemisphäre wird der dominanten Gehirnhälfte verwehrt, weshalb der Patient nicht in der Lage ist, bestimmte Bewegungen auszuführen (Reeves & Risse; 1995).

Reeves und Risse (1995) beobachteten, dass ein Patient, einer Aufforderung, die er zuerst mit der rechten Hand und unmittelbar darauf mit der linken Hand ausführen soll, korrekt Folge leisten kann. Die Diskonnektion wird erst deutlich, wenn die linke Hand einen anderen Befehl erhält und umsetzen soll. Die nicht-dominanten Hemisphäre kann die Aufgabe nicht verstehen, weshalb die linke Hand gar nicht oder falsch auf den Befehl reagiert.

7.3.4 Agraphie der linken Hand

Auch das Schreiben stellt gewöhnlich ein Problem für Split-Brain Patienten dar. Angenommen man diktiert dem Patienten ein Wort, das er mit der linken Hand schreiben soll, so wird die Aufgabe zwar verstanden, es kommt jedoch zu Problemen, da die rechte Gehirnhälfte für die linke Hand zuständig ist. Die linke Hand produziert daraufhin entweder eine unsinnige Buchstabenabfolge oder gar keine Buchstaben (Springer & Deutsch; 1995/Goldenberg; 2007). Ein passives Schreib- bzw. Schriftsystem kann jedoch in der rechten Hemisphäre entwickelt werden (siehe Kapitel 5.5) (Gazzaniga; 2000).

Baynes et al. (1998) untersuchten die linkshändige Patientin V.J., deren Output für geschriebene Sprache von der rechten Hemisphäre kontrolliert und gesteuert wird, im Gegensatz zum Output für gesprochene Sprache, der – wie bei anderen linksdominanten Split-Brain Patienten auch – in der sprachdominanten Hemisphäre lokalisiert werden konnte.

V.J. war sechs Monate nach der kompletten Callosotomie lediglich in der Lage, einzelne Zahlen und Buchstaben mit ihrer linken Hand abzuschreiben, während ihre rechte Hand kaum Zahlen oder Buchstaben produzieren konnte (siehe Abbildung 9).

V.J. konnte mit der linken Hand ungefähr 80% des Alphabets in Groß- und Kleinbuchstaben schriftlich niederlegen, aber nur sehr wenige Großbuchstaben mit der rechten Hand (Baynes et al.; 1998).

Drei Jahre nach V.J.s Split-Brain Operation ist es ihr möglich, einige ganze Wörter mit ihrer linken Hand schreiben, wenn diese diktiert werden. Jedoch sind Ergebnisse häufig perseverativ oder paraphasisch. Sie kann nur 2 von 73 Items korrekt niederschreiben, während sie 69 der gleichen Items korrekt vorlesen

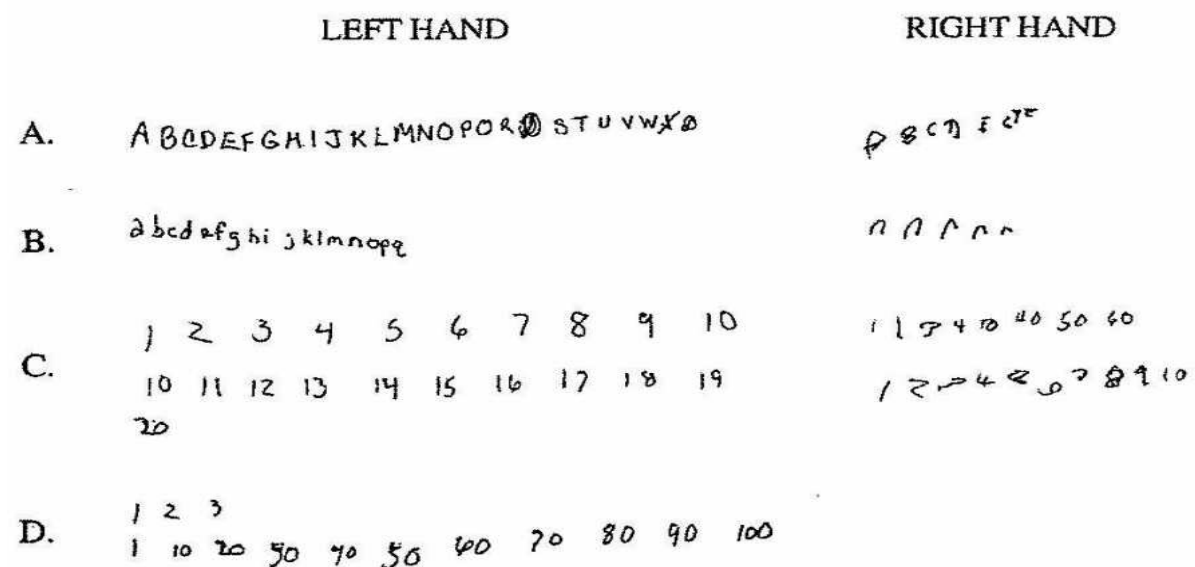


Abbildung 9: Produktionen der linken und rechten Hand von V.J. bei folgenden Befehlen:

A) Schreiben Sie das Alphabet in großen Blockbuchstaben. B) Schreiben Sie das Alphabet in Kleinbuchstaben. C) Schreiben Sie die Zahlen von 1 bis 20. (Hier muss man anmerken, dass die rechte Hand bei 5 aufgehört hat zu schreiben und daraufhin die linke Hand die Zahlen 30,40,50,60 hinzugefügt hat.) D) Schreiben Sie die Zehnerschritte bis 100

Quelle: Baynes & Eliassen & Lutsep & Gazzaniga (1998): 903

und erkennen kann (Baynes et al.; 1998).

V.J.s rechte Hand, die von der linken sprachbefähigten Hemisphäre gesteuert wird, ist trotzdem nicht im Stande, einfache Wörter schriftlich zu produzieren (siehe Abbildung 10).

Demnach kommt es bei tachistoskopischen Untersuchungen dazu, dass nur Wörter, die in die rechte Hemisphäre gelangen, korrekt geschrieben werden (Baynes et al.; 1998).

Dieses Ergebnis lässt Baynes et al. (1998) vermuten, dass es sich bei kognitiven Funktionseinheiten nicht – wie bisher angenommen – um ein untrennbares

Gebilde handelt. V.J.s Auffälligkeiten bestärken diese Annahme, da sich der graphische Output in der rechten Hemisphäre zu befinden scheint, obwohl ihre linke Hemisphäre die sprachlich dominante ist und verbale Äußerungen ohne Probleme produzieren kann (Baynes et al.; 1998).

Diese ungewöhnliche Beobachtung bei V.J. impliziert jedoch, dass die rechte Gehirnhälfte über lexikalisches und semantisches Wissen verfügen müsste, was bei V.J. tatsächlich zutrifft. Nun stellt sich die Frage, ob Phonologie und Orthographie voneinander abhängige oder unabhängige Systeme sind (Baynes et al.; 1998).

Baynes et al. (1998) sind der Meinung, dass es möglich sei, dass neuronale Substrate, welche Schreibprozesse unterstützen sich von jenen, die gesprochene Sprache unterstützen, abgrenzen. Dass die Fähigkeit zu schreiben sich in der nicht-dominanten Hemisphäre befinden kann, während alle anderen sprachlichen Fähigkeiten in der linken Hemisphäre lokalisiert werden, ist eine neue Erkenntnis, der sich die Forschung unbedingt intensiver widmen sollte.

	LVF / LEFT HAND		RVF / RIGHT HAND	
Patient ID	Wrote:	Said:	Wrote:	Said:
V. J.	young	"yet"	only	"problem"
J. W.	Y/ 12	"here"	problem	"problem"
D. R.	hand	"hand"	problem	"problem"
Word Displayed:	young		problem	

Abbildung 10: Schriftliche und verbale Reaktionen lateralisiert gebotener Wörter der Patienten V.J., J.W. und D.R.
Quelle: Baynes & Eliassen & Lutsep & Gazzaniga (1998): 904

Gazzaniga (2000) erklärt, dass ohne die ausführenden Fähigkeiten der dominanten Hemisphäre, das Schreiben isoliert und für die nicht-dominante Gehirnhälfte unbrauchbar bleibt. Diese Erklärung schließt ungewöhnliche Patienten wie V.J. aus, trifft aber auf den „typischen“ Split-Brain Patienten zu.

7.3.5 Alexie der linken Gesichtshälfte

Die Alexie der linken Gesichtshälfte ist ein Symptom, das auf eine Läsion im hinteren Drittel des Corpus Callosums – dem Splenium – zurückzuführen ist, während alle anderen bereits genannten Symptome aus der Diskonnektion des vorderen Drittels resultieren (Goldenberg; 2007).

Projiziert man einzelne Wörter oder Buchstaben in das linke Gesichtsfeld eines Patienten, so kann er diese nicht lesen bzw. (bewusst) verstehen, da für den sprachlichen Inhalt die linke Hemisphäre verantwortlich ist, jedoch die Information von der rechten Hemisphäre nicht transferiert werden kann (Springer & Deutsch; 1995/Goldenberg; 2007).

Jedoch kann die linke Hand das Objekt, das der Begriff im linken Gesichtsfeld bezeichnet hat, aus mehreren Gegenständen auswählen, ohne diese zu sehen.

Das bedeutet, dass die rechte Hemisphäre den Begriff gelesen und verstanden hat, es mangelt lediglich an der Verbindung zur linken Hemisphäre, um das Gesehene benennen zu können (Springer & Deutsch; 1995).

Zaidel (1982) vergleicht die rechtshemisphärische Leseleistung von Split-Brain Patienten mit jenen von tiefendyslektischen Patienten. Während Callosotomie-Patienten semantische Fehler beim visuellen Wort-Bild-Zuordnen aufweisen, kommt es bei Tiefendyslektikern zu semantischen Paralexien.

7.3.6 Prosodie und Syntax

Die Studie von Friederici et al. (2003) basiert auf Belegen aus früheren psycholinguistischen Forschungen, aus denen hervorgeht, dass während dem auditiven Satzverständnis eine Interaktion von prosodischer und syntaktischer Information stattfindet. Bis heute geht die Neurolinguistik davon aus, dass die rechte Hemisphäre in Bezug auf prosodische Information der linken Hemisphäre überlegen ist. Durch elektrophysiologische Untersuchungen entdeckte man das sogenannte ereigniskorrelierte Gehirnpotential (ERP), das verantwortlich ist für die Verarbeitung und Erkennung der Intonationsphasengrenze (IPB). Diese ERP Komponente wird Closure Positive Shift (CPS) genannt und wird an der IPB (#) beobachtet (Friederici et al.; 2003).

Beispiele (Friederici et al.; 2003):

- (a) Peter verspricht Anna # zu arbeiten
- (b) Peter verspricht # Anna zu lieben

Die IPB wird in den Sätzen (a) und b) unterschiedlich gesetzt, da diese Sätze sich in ihrer syntaktischen Struktur unterscheiden. Satz (a) verfügt über Verbintransitivität, während Satz (b) ein transitives Verb beinhaltet (Friederici et al.; 2003).

Ein falsch gesetzter IPB wie in

- (c) Peter verspricht # Anna zu arbeiten

führt dazu, dass sogenannte N400-P600 Muster auftreten. Es kommt zu einer falschen grammatikalischen Analyse, die aus der Hirnreaktion auf das Verb resultiert. N400 zeigt sich, wenn der Satz unpassende Lexik aufweist. P600 reflektiert syntaktische Reanalyse (Friederici et al.; 2003).

Diese ERP Muster werden durch eine Diskrepanz zwischen der prosodischen und syntaktischen Struktur am Satzanfang verursacht und können als Instrument dazu dienen, die neuronale Grundlage des Syntax-Prosodie Zusammenspiels zu untersuchen (Friederici et al.; 2003).

Friederici et al. (2003) gingen davon aus, dass suprasegmentale prosodische Informationen für das Erkennen von IPBs relevant sind. Diese prosodische Verarbeitung findet in der rechten Hemisphäre statt, während die Verarbeitung eines syntaktischen Inputs in der linken Hemisphäre erfolgt. Daher kann ein Split-Brain Patient die N400-P600 Muster in Sätzen, wie es in (c) dargestellt wurde, nicht erkennen. Der rechten Hemisphäre kann die prosodische Information nicht an die linke Hemisphäre, die syntaktische Prozesse analysiert, weiterleiten. Da die linke und rechte Hemisphäre nicht interagieren können, werden Sätze wie (c) nicht korrekt verarbeitet und verstanden (Friederici et al.; 2003).

Die Autoren untersuchten N400 und P600 Muster von sieben Split-Brain Patienten, um zu zeigen, dass die Patienten normale N400 Muster für Sätze aufweisen, in denen gegen lexikalische Regeln verstoßen wurde (z.B.: Die Wolke

wurde gegessen) und normale P600 Muster für syntaktische Verstöße (Das Eis wurde im gegessen), wenn diese mit korrekten Sätzen verglichen werden. Weiters wurde anhand von Sätzen wie (a) bis (c) das Zusammenspiel von Syntax und Prosodie untersucht.

Friederici et al. (2003) belegten in ihrer Studie, dass Split-Brain Patienten die gleichen N400 und P600 Muster aufweisen, wie gesunde Hörer. Man konnte auch das CPS an der IPB in Sätzen (a) und (b) nachweisen. Aber anders als bei gesunden Hörern zeigen sie keine N400-P600 Muster für entscheidende Verben in Sätzen wie Typ (c) also in Sätzen, die inkorrekte Prosodie-Grenzen beinhalten.

Friederici et al. (2003) schließen daraus, dass das Zusammenspiel von prosodischer und syntaktischer Information auf der Interaktion der rechten und linken Hemisphäre basiert.

Gazzaniga (2000) postuliert, dass die rechte Hemisphäre über ein Lexikon verfügt, was dem der linken Hemisphäre unterlegen ist.

Die rechte Hemisphäre erbringt Unregelmäßigkeiten in anderen Sprachaspekten wie das Verständnis, Pluralbildung, Possessivpronomen und Aktiv-Passiv Unterscheidung.

Weiters ist die rechte Hemisphäre von Split-Brain Patienten nicht in der Lage, Satzstellung anzuwenden oder Phrasen zu verstehen (Gazzaniga; 1984). Jedoch kann diese Hemisphäre darauf hinweisen, wann ein Satz mit einem unerwarteten Wort endet. Jene rechten Hemisphären, die über Sprachkompetenzen verfügen, sind in der Lage, grammatikalische Beurteilungen vorzunehmen. Das heißt, dass sie keine Syntax anwenden können, um Sätze zu verstehen. Sie können jedoch beurteilen, ob einige Äußerungen grammatisch sind oder nicht (Gazzaniga; 2000).

Stimmt Gazzanigas Vermutung, dass die rechte Hemisphäre die Mittel hat, lexikalische Information, aber keine produktive Grammatik zu enkodieren, dann würde diese unerwartete Erkenntnis darauf hinweisen, dass Sprachmuster auswendig gelernt werden. Das rechtshemisphärische Lexikon kann passive Syntax zwar erkennen, aber nicht produktiv einzusetzen (Gazzaniga; 2000).

7.3.7 Semantik

Die Frage die sich Grabowecky et al. (2004) stellen, bezieht sich auf die Möglichkeit des Transfers zwischen den durchtrennten zerebralen Hemisphären bei Split-Brain Patienten. Das Ziel ihrer Studie ist die Überprüfung eines früheren Untersuchungsergebnisses (Lambert; 1991), welches postuliert, dass semantischer Transfer trotz fehlender Verbindung möglich ist. In diesem Bericht wurde die Patient L.B. untersucht. L.B. musste Wörter kategorisieren, die in ihr rechtes Gesichtsfeld projiziert wurden. Sie musste entscheiden, ob es sich um „belebte Wörter“ oder „nicht belebte Wörter“ handelt und sie musste die Aufgabe mit der rechten Hand per Tastatur lösen. Die Reaktionszeit wurde langsamer, wenn gleichzeitig ein zweites Wort in das linke Gesichtsfeld projiziert wurde, das derselben semantischen Kategorie wie das Wort in der rechtsseitigen Darstellung angehörte. Diese Auffälligkeit wird auch bei neurologisch intakten Personen beobachtet (Lambert; 1991).

Aufgrund dieser Übereinstimmung folgte Lambert (1991), dass komplexe semantische Informationen über subkortikale Bahnen transferiert werden können. Unglücklicherweise stellte sich heraus, dass L.B. eine atypische Split-Brain Patientin zu sein scheint, da ihre Leistung jenen von gesunden Menschen gleicht. Diese Beobachtung kann wahrscheinlich dadurch erklärt werden, dass L.B. zum Zeitpunkt der ersten Split-Brain Operation 13 Jahre alt war und damit noch jung genug, um durch die Operation entstandene Unzulänglichkeiten des Gehirns auszugleichen.

Grabowecky et al. (2004) fanden zwei ungewöhnliche Aspekte in diesem Bericht:

1. Semantisch verwandte Wörter lösten eine verzögerte Reaktionszeit aus
2. Der Effekt war außergewöhnlich auffällig und ging verloren, wenn Wort-Stimuli innerhalb der Untersuchungssitzung eines Testdurchlaufs wiederholt wurde.

Die Autoren vermuten, dass es vier mögliche Erklärungen gibt, warum semantische Interaktion zwischen den getrennten Hemisphären stattfinden könnte:

- Die Patienten lernten zu Beginn der Aufgabe die Beziehung zwischen den Wörtern und den Kategorien im Experiment. Man beobachtete eine verzögerte Reaktion, wenn zwei Wörter derselben Kategorie dargeboten wurden.
- Der Effekt tritt auf der Wortebene auf, woraufhin die Autoren vermuten, dass dieser Effekt durch die Ähnlichkeit der Wörter bedingt ist, da es schwieriger ist, Begriffe der gleichen Kategorie auseinander zu halten.
- Testpersonen sind zunächst unsicher in Bezug auf die Struktur, der die beiden Kategorien angehören, wodurch es zu einer längeren Reaktionszeit kommt. Wörter, die unterschiedlichen Kategorien angehören, dürften deutlichere Evidenz für Kategorie-Abgrenzungen erbringen, als Wörter, die der gleichen Kategorie angehören.
- Der Effekt wird weniger durch semantische Interferenz als durch die Überlegung hervorgerufen, welcher Kategorie der Stimulus angehört.

Durch das Manipulieren der Wörter und den Kategorien, versuchten die Autoren den Ursprung der Interferenz zu ermitteln.

Grabowecky et al. (2004) untersuchten zwei Patienten, J.W. und V.P. Während J.W. einer kompletten Callosotomie unterzogen wurde, blieben bei V.P. rostrale und spleniale Kommissuren erhalten. Beide Patienten weisen eine linksseitige Sprachdominanz auf und sind beide Rechtshänder, jedoch konnten ihnen bereits fortgeschrittene Sprachfähigkeiten in der rechten Hemisphäre nachgewiesen werden.

Frühere Untersuchungen beobachteten weder bei J.W. noch bei V.P. Fähigkeiten, die es ermöglichen, Informationen zwischen den Hemisphären zu vergleichen.

Die Patienten wurden aufgefordert, ihnen tachistoskopisch präsentierte Wörter in „klein“ (wenn es in eine Papierbox mit den Maßen 44x29x22) oder „groß“ zu kategorisieren.

Beide Patienten übergaben jene Wörter, welche in ihre rechte Hemisphäre gelangten, während jene, welche dem rechten Gesichtsfeld und somit der linken

Hemisphäre dargeboten wurden, problemlos aus zwei Antwortalternativen selektiert und kategorisiert werden konnten.

Die Resultate zeigen, dass V.P. bei semantisch verwandten Wörtern schneller reagierte als J.W., wobei ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Kategorisierungsaufgabe selbst ausblieb.

Die Resultate von Grabowecky & Kingstone (2004) stimmen nicht mit der Hypothese überein, es gäbe einen subkortikalen semantischen Transfer von Wörtern, die ins linke Gesichtsfeld eingeblendet werden. Die Autoren vermuten, dass keine subkortikale Übertragung von semantischer Information existiert.

7.4 Zerebrale und callosale Organisation bei einem rechts-dominanten Patienten

Lutsep et al. (1995) untersuchten eine rechts-dominante Patientin, die zunächst einer partiellen und später einer kompletten Callosotomie unterzogen wurde. Die Patientin K.O. wurde im Alter von 9 Jahren operiert. Sechs Jahre später, wurde sie von den oben genannten Autoren untersucht, wobei es zu folgenden Ergebnissen kam:

Die rechte Hemisphäre wies eine höhere Kompetenz beim Benennen und Lesen auf als die linke, während beide Gehirnhälften im Sprachverständnis gut abschnitten. Aktive Syntax ist hingegen ausschließlich in der rechten Hemisphäre kompetent.

Die Untersuchung dieser rechts-dominanten Split-Brain Patientin ermöglichte Lutsep et al. (1995), die hemisphärische Lokalisierung der sprachlichen Begabung zu erforschen und die Frage zu klären, ob eine Co-Existenz von sprachlichen und wahrnehmenden Funktionen innerhalb einer Hemisphäre möglich ist.

Unmittelbar nach der Operation wurde K.O. zum ersten Mal getestet. Sie konnte jene Bilder, die ihr im rechten Gesichtsfeld präsentiert wurden, nicht benennen. Dennoch war es ihr möglich, Dinge, die sie in ihrer Hand hielt, zu benennen und wies weder Apraxie noch Agraphie auf. Lutsep et al. (1995) untersuchten die Patientin mittels tachistoskopischen Verfahren.

Die sprachlichen Aufgaben umfassten folgende sprachliche Komponenten:

- a) Verbales Benennen eines Bildes, das entweder in das linke oder ins das rechte visuelle Gesichtsfeld projiziert wurde
- b) Auditives Verständnis von Wörtern, welche entsprechenden Bildern zugewiesen werden sollten
- c) Lesen eines Wortes (bestehend aus drei bis vier Buchstaben), das einem von zwölf unterschiedlichen Bildern zugewiesen werden soll
- d) Aktive und Passive Syntax: Die Patientin musste zum einen Bilder und zum anderen einen auditiv dargebotenen Satz erfassen und verstehen und deren Bedeutung miteinander vergleichen. K.O.s Aufgabe war es, das entsprechende Bild dem Satz zuzuordnen. Beantworten musste K.O. die Aufgabe durch eine verbale deutliche Äußerung (zum Beispiel: „Ja, dieser Satz beschreibt dieses Bild“ oder „Nein, Satz und Bild passen nicht zusammen“)

Die Ergebnisse deuten auf einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen den beiden Hemisphären hin. Das Benennen und Lesen wurde von der rechten Hemisphäre deutlich besser absolviert als von der linken Gehirnhälfte. Dennoch zeigte die linke Hemisphäre eine gute Leistung bei der Benenn-Aufgabe (50%) und auch ein relativ gutes Leseverständnis konnte festgestellt werden. Beim auditiven Verstehen einzelner Wörter zeigten sich beide Hemisphären kompetent.

Aktive Syntax konnte nur von der rechten Gehirnhälfte bearbeitet werden, wohingegen Aufgaben mit passiver Syntax weder von der linken, noch von der rechten Hemisphäre gemeistert werden konnten (Lutsep et al.; 1995).

Lutsep et al. (1995) schließen aus dieser Untersuchung, dass K.O. rechte Sprachdominanz aufweist, wobei die linke Gehirnhälfte durchaus einige sprachliche Fähigkeiten in der Sprachproduktion und im Sprachverständnis zu haben scheint. Aktive Syntax leistet jedoch nur die sprachdominante Gehirnhälfte, was ein Indiz dafür ist, dass komplexes, grammatisches Können im Gegensatz zu anderen Sprachfunktionen, innerhalb nur einer Hemisphäre lokalisiert ist (Lutsep et al.; 1995).

7.5 Weitere Störungsmerkmale

7.5.1 Fehlerhafte intermanuelle Lokalisation

Drückt man mit dem Finger auf die Hand eines Split-Brain Patienten, während er die Augen geschlossen bzw. verbunden hat, ist es ihm unmöglich mit der anderen Hand auf den Punkt der Berührung zu zeigen. *„Die genaue Information über die Lokalisation der Berührung müsste von der Hemisphäre, die der berührten Hand gegenüberliegt, zu der anderen Hemisphäre geleitet werden, die die Zeigebewegung steuert“* (Goldenberg; 2007: 155).

Aufgrund des Fehlens der notwendigen Verbindung zwischen linker und rechter Gehirnhälfte, gibt es keine Kommunikation mehr zwischen den beiden Hemisphären und eine motorische Steuerung schlägt fehl.

7.5.2 Zahlenverarbeitung

Die mathematische Fähigkeit setzt sich aus vielen kognitiven Komponenten zusammen. Die Präsentation einer numerischen Quantität wird schon sehr früh im Kindesalter erlernt. Die Repräsentation von Zahlenmenge ist notwendig, um mathematische Prozesse durchführen zu können (z.B.: übergelehrte Rechnungen: $2+2=4$) (Colvin et al; 2005).

Colvin et al. (2005) konzentrieren sich in ihrer Studie auf die Frage, ob beide Hemisphären eine genaue Darstellung quantitativen Wissens repräsentieren. Rechnen wird eher der linken Hemisphäre zugeschrieben, jedoch gibt es in der Literatur Hinweise darauf, dass beide Gehirnhälften im Stande sind, rudimentäre Zahlenvergleiche anzustellen. Colvin et al. (2005) untersuchten J.W. und versuchten zu klären, ob und wenn ja, inwieweit beide voneinander getrennten Hemisphären eines Split-Brain Patienten über die Fähigkeit verfügen, kleine Sets zu zählen und Mengenunterschiede anzustellen. Die Fähigkeit mehrere Objekte schnell abzuzählen ist bekannt als *„Simultanerfassung“*. Wenn die Anzahl der Items nicht mehr als vier beträgt, kann ein gesunder Mensch schnell und präzise quantifizieren, wie viele Items dargeboten wurden. Es wurde lange darüber diskutiert, ob Simultanerfassung durch einen non-verbalen Mechanismus oder durch präattentive Wahrnehmungsprozesse geleistet wird. Simultanerfassung wurde auch schon

vor der Sprachproduktion bei Menschen und auch bei Ratten und Schimpansen beobachtet, was wiederum ein Indiz dafür ist, dass Simultanerfassung keinen kognitiven Prozessen unterliegt, wie zum Beispiel die Sprache. Neuroimaging Resultate zeigen eine bilaterale mittlere okzipitale und parietale Aktivität. Daher vermuteten Colvin et al. (2005), dass die non-verbale rechte Hemisphäre beim Abzählen kleiner Sets ähnlich gut abschneiden wird wie die linke Hemisphäre und dass somit beide Hemisphären eines Split-Brain Patienten gleichwertige Resultate bei der Simultanerfassung erzielen werden.

Colvin et al. (2005) versuchten in ihrer Studie, die Repräsentation von Zahlen und Mengen in beiden Hemisphären zu untersuchen. Die Resultate früherer Untersuchungen, bei denen sowohl partielle als auch komplette Callosotomie Patienten untersucht wurden, bestärken die Hypothese, dass beide Hemisphären Mengenbeurteilungen vornehmen können, sofern die Mengen als Ziffern kodiert sind. In vorangegangenen Experimenten konnten die Ergebnisse der verbal präsentierten Zahlen von partiellen Split-Brain Patienten nicht an Ergebnisse von Ziffernformaten anknüpfen.

Die Resultate der Studie von Colvin et al. (2005) werden mit Dehaens (1992) Triple Code Modell (TCM) verglichen.

Das Triple Code Modell

Das Triple Code Modell berücksichtigt drei mögliche Repräsentationen numerischer Quantität:

1. Visuelle arabische Zahlen (1,2,3,4,...)
2. Verbale Wortform (eins, zwei, drei, vier,...)
3. Analoge Mengendarstellung (4 Punkte)

Diese Zahlenrepräsentationen können laut Dehaene (1992) innerhalb einer Hemisphäre direkt von einem Code in den anderen transkodiert werden (vier → 4).

Nach diesem Modell, können beide Hemisphären visuelle und analoge Repräsentationen wahrnehmen, die verbale Form kann dagegen nur in der linken Hemisphäre verstanden werden. Callosale Verbindungen unterstützen im

gesunden Gehirn den Transfer von verbal repräsentierten Zahlenquantitäten zur rechten Gehirnhälfte. Nachdem bei Split-Brain Patienten diese callosalen Verbindungen durchtrennt wurden, ist die rechte Hemisphäre laut dem Triple Code Modell auf eine numerische Handhabung beschränkt, die nur visuelle und analoge Repräsentationen in ein anderes Format übersetzen kann. Die rechte Hemisphäre ist nicht in der Lage, Aufgaben zu lösen, die Mengenvergleiche bzw. -unterscheidungen, sowie auch das Erkennen geschriebener Zahlwörter oder gesprochener Zahlen erfordert. Grund hierfür ist der Zugang zur verbalen Wortform, der aufgrund der Diskonnektion nicht mehr gewährleistet werden kann. Dehaene argumentiert, dass jede Hemisphäre die Zahlenreihe intern repräsentiert (Dehaene; 1992).

Weiters gibt es einen Hinweis darauf, dass die Darstellung der Zahlenreihe von sprachlichen Fähigkeiten beeinflusst wird. Leute deren Sprache von links nach rechts geschrieben wird, zeigen schnellere Reaktionen bei kleineren Zahlen mit einer links positionierten Antworttaste und schnellere Reaktionen bei größeren Zahlen mit der rechts positionierten. Das spricht dafür, dass zum Beispiel Deutsch oder Englisch sprechende Menschen über eine ansteigende Zahlenreihen-Repräsentation verfügen: bei einer größeren Menge von links nach rechts bei kleineren Zahlen von rechts nach links (Dehaene & Bossini; 1993).

Bei Leuten, deren Muttersprache von rechts nach links geschrieben wird, zeigt sich das umgekehrte Phänomen, was impliziert, dass die Sprachfunktionen, die menschliche Fähigkeit Mengen zu erfassen, beeinflusst. Wenn aber die Sprachfunktionen diesen Einfluss ausüben, wie repräsentiert dann die rechte Hemisphäre Zahlen bzw. Zahlenreihen? (Colvin et al.; 2005).

Moyer und Landaeur (1967) zeigten, dass Menschen schnellere und genauere Mengenbeurteilungen in Bezug auf Quantität vornehmen, wenn ein großer Abstand zwischen der präsentierten Zahlenmengen vorliegt (2 vs. 9). Wenn tatsächlich beide Hemisphären Zahlenreihen repräsentieren, dann kann man davon ausgehen, dass dieser numerische Distanzeffekt nur in der linken Hemisphäre beobachtet werden kann (Moyer & Landaeur; 1967).

In der Studie von Colvin et al. (2005) testeten die Untersucher u.a. diesen Effekt am Split-Brain Patienten, die Fähigkeit zur Simultanerfassung in beiden

Hemisphären und Mengenbeurteilungen über verschieden kodierte numerische Quantität zu machen.

Nachdem Simultanerfassung keinen verbalen Fähigkeiten unterliegt, sind die Autoren zu Beginn dieser Studie der Meinung, dass beide Hemisphären in der Lage sind, kleinere Sets abzuzählen. Weiters vermuten sie, dass beide Gehirnhälften bei Mengenbeurteilungen gleich abschneiden werden, solange die Menge in arabischer oder analoger Zahl repräsentiert ist. Es wird davon ausgegangen, dass beim Beurteilen von Zahlwörtern die linke Hemisphäre die überlegenere sein wird und dass der Distanzeffekt nur in einer Hemisphäre auftreten wird.

Colvin et al. (2005) führten mit J.W Experimente mittels Tachistoskop durch, wobei der Fokus auf den unterschiedlichen Aspekten der numerischen Wahrnehmung und Verarbeitung der einzelnen Hemisphären gelegt wurde.

Das erste Experiment soll Fähigkeit der Simultanerfassung in beiden Hemisphären präzisieren und die stärkere Hemisphäre identifizieren. Der Ausgangspunkt der Autoren ist die Theorie, dass die Simultanerfassung auf non-verbalen Mechanismen basiert. Diese Mechanismen ermöglichen ein schnelles Abzählen eines Sets, bestehend aus ein bis vier Items. Da die Fähigkeit zur Simultanerfassung schon vor der Sprachproduktion auftritt, liegt die Vermutung nahe, dass beide Hemisphären über diese Kapazitäten verfügen (Colvin et al.; 2005).

Als Stimuli dienten ein bis vier rote Kreise, die entweder der linken oder der rechten Hemisphäre dargeboten wurden. Die Anordnung der Kreise variierte, damit die vier Kreise nicht immer an der gleichen Stelle auftauchten. Die Entscheidung des Patienten basierte daher eher auf Erkennungsmuster. Der Patient wurde aufgefordert, zu beurteilen, wie viele Items in jedem Stimulus auftauchen, indem er die Tasten 1,2,3,4 drückt (Colvin et al.; 2005).

Die Ergebnisse bestätigen die Annahme der Autoren, dass Simultanerfassung ein präverbaler Mechanismus ist. Dies ging aus der gleichwertigen Ermittlung von Mengen in beiden Hemisphären hervor.

Zu einem anderen Schluss kamen jedoch Pasini et al. (2001). Sie unterstützen die Überlegenheit der rechten Hemisphäre sowohl für die Simultanerfassung als

auch für jene Mengenunterscheidungen, welche außerhalb des Rahmens von Simultanerfassung liegen. Eine Wiederholung ihrer Studienexperimente ermöglichte eine weitere Prüfung ihrer vorhergehenden Resultate, wobei die neueren Ergebnisse mit jenen von Colvin et al. (2005) übereinstimmen.

Das zweite Experiment von Colvin et al. (2005) dient der Ermittlung von Mengenerfassung gleich kodierter Stimuli innerhalb einer Hemisphäre. Laut Dehaens *Triple Code Modell* (1992) soll die rechte Gehirnhälfte nicht befähigt sein, Aufgaben, die Zahlenwörter beinhalten, zu lösen. Ziffern und analoge Mengenrepräsentationen sollen hingegen kein Problem für die rechte Hemisphäre darstellen. Die linke Hemisphäre wird in diesem Modell als die überlegene postuliert, da sie sowohl Zahlenwörter als auch analoge Mengendarstellungen und Ziffern genauer verarbeiten und erkennen kann (Colvin et al.; 2005).

Im Experiment von Colvin et al. (2005) wurde diese Behauptung geprüft, wobei man die Aufmerksamkeit speziell auf die Genauigkeit und die Reaktionszeit richtete.

Als Stimuli dienten Ziffern, Zahlenwörter und unterschiedlich große und räumlich positionierte Punkte von eins bis neun. Innerhalb eines Gesichtsfeldes wurden zwei verschiedene Stimuli-Typen projiziert. Der Patient sollte die größere Mengendarstellung mittels Tastendruck bestimmen (Colvin et al.; 2005).

Aus den Ergebnissen konnte man schließen, dass bei der Punktdarstellung keine Auffälligkeiten beobachtbar sind, da beide Hemisphären eine sehr gute Leistung erzielten. Wenn die beiden Stimuli einen größeren Mengenunterschied aufweisen, konnte der Mengenunterschied genauer beurteilt werden. Dieser Distanz-Effekt konnte genauer untersucht werden, da er nicht immer gleich in den Hemisphären stattfand, sondern je nach Stimulicodierung und Hemisphäre variiert (Colvin et al.; 2005).

Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gehirnhälften konnte nur bei Zahlenwörtern ermittelt werden, wobei die linke Hemisphäre aufgrund ihrer sprachlichen Überlegenheit besser abschnitt als die rechte. Allerdings muss angemerkt werden, dass die rechte Hemisphäre keineswegs schlecht abschnitt. Dieses Ergebnis spricht erneut gegen das Triple Code Modell (1992), wo

postuliert wird, dass es der rechten Hemisphäre unmöglich sei, Zahlwörter zu verarbeiten.

Bei den Punktereihen wies man in der rechten Hemisphäre einen größeren Distanz-Effekt nach, was man vermutlich der Mustererkennung beziehungsweise Musterwahrnehmung, die als eine Funktion der rechten Hemisphäre erkannt wurde, zuschreiben kann. Allerdings schnitt auch die linke Gehirnhälfte nicht schlecht ab (Colvin et al.; 2005).

Eine schnellere Reaktion wurde bei J.W. dann festgestellt, wenn er mit der rechten Hand antworten musste.

Die Resultate von Colvin et al. (2005) weisen Widersprüchlichkeiten mit Dehaens Triple Code Modell (1992) auf. Beide Hemisphären sind in der Lage kleinere Anzahlen von Items abzuzählen und numerische Mengen zu erfassen, zu verarbeiten und zu vergleichen, ohne Rücksicht darauf, ob diese im gleichen Format dargestellt werden oder nicht.

Unterschiede können lediglich bei allgemeinen hemisphärspezifischen Fähigkeiten in Bezug auf die Zahlenrepräsentation und deren Verarbeitung beobachtet werden.

Beide Hemisphären verfügen über die Fertigkeit zu zählen, was mit früheren Untersuchungen übereinstimmt und bestätigt, dass Simultanerfassung auf non-verbalen untergeordneten Verarbeitungsprozessen beruhen, die wahrscheinlich bilateralisiert präsent sind (Colvin et al.; 2005).

Untersuchungen von Patienten, dessen anteriore Hälfte des Balkens weder durchtrennt, noch Läsionen aufwies, konnten Erkenntnis darüber geben, inwiefern ein Transfer von semantischen Zahlenbegriffen stattfindet. Colvin et al. (2005) postulierten, dass auch bei Patienten mit nur minimalen posterioren (rostralen) Verbindungen ein solcher semantischer Transfer nachgewiesen werden kann.

Gazzaniga et al. (1984) fanden heraus, dass die rechte Hemisphäre über sprachliche Fähigkeiten verfügt, u.a. auch über ein Lexikon, das jedoch nicht so beträchtlich ausgeprägt ist, wie jenes in der linken Hemisphäre. Außerdem gibt es Hinweise darauf, dass die rechte Hemisphäre mit einem komplexen semantischen Wissen ausgestattet ist.

Schlussendlich konnte belegt werden, dass die funktionale Spezialisierung jeder Hemisphäre sich auf die Leistung der speziellen Aufgaben auswirkt, aber beide Mengen und Größen erfassen und verarbeiten können (Colvin et al.; 2005).

7.5.3 Akalkulie

Das Corpus Callosum scheint auch bei Rechenprozessen eine wichtige Rolle zu spielen. Cohen und Dehaene (1996) erläutern einen Fall, bei dem die Patientin im Zuge eines Infarkts eine Schädigung im posterioren Teil des Balkens davontrug. Anhand einer tachistoskopischen Untersuchung konnten Unterschiede bei numerischen Prozessen zwischen den beiden Hemisphären beobachtet werden. Der Patientin wurden arabische Zahlen und Zahlenwörter sowohl in das rechte als auch in das linke Gesichtsfeld präsentiert. Mit den dargebotenen Zahlen und Zahlenwörter, welche in die linke Hemisphäre gelangten, war die Patientin in der Lage, das Gesehene zu benennen, eine Beurteilung der numerischen Größe vorzunehmen und mit ihnen zu rechnen. Wurde hingegen der Input der rechten Hemisphäre dargeboten, konnten lediglich Gleich-Ungleich Entscheidungen über zwei Ziffern vorgenommen und die größere Zahl identifiziert werden (Cohen & Dehaene; 1996).

Dieses Ergebnis belegt, dass die rechte Hemisphäre Ziffern erkennen kann und im Stande ist, diese mit ihrer numerischen Quantität in Zusammenhang zu bringen.

Bei der tachistoskopischen Aufgabe wurde jeweils eine Zahl pro Gesichtsfeld dargeboten und die Patientin musste die beiden Zahlen vergleichen. Ihre Antworten gingen nicht über das Zufallsniveau hinaus. Aufgrund der Läsion am posterioren Teil des Corpus Callosums konnte diese Aufgabe, die einen interhemisphärischen Transfer in einem visuellen Format über die geschädigten Teile des Balkens erfordert, nicht ausreichend korrekt gelöst werden (Karnath & Thier).

Signifikante Verbesserung zeigte sich, wenn eine Ziffer, die der rechten Hemisphäre dargeboten wurde, durch eine Punkte ersetzt wurde, da die Größeninformation nicht über den posterioren Teil des Balkens transferiert wird, sondern über Segmente, die anterior liegen und keine Läsionen aufweisen (Cohen & Dehaene; 1996).

Eine starke Beeinträchtigung konnte man auch beim lauten Lesen und beim Addieren von Zahlen beobachten, die in die rechte Hemisphäre projiziert wurden. Die linke Hemisphäre wies bei diesen Aufgaben keinerlei Probleme auf, sodass man daraus schließen kann, dass nur die linke Hemisphäre dieser Patientin über ein vollständiges Rechensystem verfügt, das auch für die Zahlenverarbeitung von Zahlenwörtern zuständig bzw. spezialisiert ist (Cohen & Dehaene; 1996).

7.5.1 Subtile Beeinträchtigungen

Einige Patienten zeigten nach einer Split-Brain Operation Schwierigkeiten, Gesichter zu benennen. Anhand einer Untersuchung (Levy & Trevarthen & Sperry; 1972) wurde dieses Problem bestätigt. Die Patienten waren anfangs nicht in der Lage drei Portraits von jungen Männern mit den jeweiligen Namen zu benennen. Schlussendlich schafften sie es jedoch, die Gesichter mit den Namen zu verknüpfen, allerdings nur, indem sie jedem Gesicht ein besonderes Merkmal zuordneten und nicht den Namen mit dem Gesicht als Ganzes verbanden. Vermutlich ist die Ursache dafür die Trennung der rechten Hemisphäre, die Gesichter erkennen kann, von der linken verbalen Hemisphäre.

Auch Gedächtnisdefizite sind zum Teil Folge einer Callosotomie. Sie treten allerdings nur bei jenen Patienten auf, die eine Läsion der hippocampalen Kommissur oder anderen Strukturen außerhalb des Balkens aufweisen. Primär sind Patienten, dessen Callosotomie den posterioren Bereich des Corpus Callosums einbinden, von solchen Defiziten betroffen. Keine Defizite tauchten bei Split-Brain Patienten auf, bei denen der posteriore Teil des Corpus Callosums ausgespart wurde (Levy et al.; 1972).

7.6 Erklärungen widersprüchlichen Verhaltens

Je mehr Patienten im Laufe der Nachuntersuchungen beobachtet und getestet wurden, desto mehr Widersprüchlichkeiten ergaben sich. Patienten, die Objekte ohne sie dabei anzusehen in der linken Hand hielten, konnten zu Beginn die Gegenstände nicht benennen, wozu sie später aber doch fähig waren. Auch die verbale Identifizierung der in die rechte Hemisphäre projizierten Darstellungen war erfolgreich.

Diese überraschenden Ergebnisse können nach Springer und Deutsch (1995) zweierlei interpretiert werden:

- a) Die rechte Hemisphäre erlangt sprachliche Fähigkeiten oder
- b) Die Information wurde auf anderen Bahnen in die linke Gehirnhälfte weitergeleitet.

Die Erklärung von Gazzaniga (1971) für dieses Phänomen ist *Cross cueing*.

7.6.1 Cross cuing

Gazzanigas (1971) Ansicht nach, nutzen Patienten jeden Reiz (engl.: *cue*) der geboten wird, damit die Information für beide Hemisphären empfänglich ist. Dies erklärt er anhand jener Untersuchungen, wo der Patient in der linken Hand einen Gegenstand benennen soll, den er nicht sieht. Hält der Patient einen Kamm in der Hand, streicht er über die Zähne und die linke Hemisphäre weiß sofort, um welches Objekt es sich handelt, da sie das Geräusch wiedererkennt.

Das heißt über Cross cueing kann eine Hemisphäre der anderen vermitteln, was gerade passiert.

Deutsch und Springer (1995) berichten von einem Patienten, dem es möglich war, die projizierten Zahlen 0 und 1, egal in welcher Gesichtshälfte diese auftauchten, zu benennen, wohingegen er bei Gegenständen und Bildern, die in der linken Gesichtshälfte auftauchten, nicht in der Lage war, diese korrekt zu benennen, was wiederum darauf hinweist, dass die rechte Hemisphäre des Patienten nicht befähigt ist, zu sprechen.

Um festzustellen, dass Cross cueing auch bei Zahlen eine Rolle spielt, fügten die Forscher in der Untersuchung die Zahlen 0,1,2,3,5,8 hinzu, ohne dem Patienten von dieser Änderung zu unterrichten. Der Patient konnte alle Zahlen, die der rechten Hemisphäre übermittelt wurden, richtig beantworten. Dieses Ergebnis untermauert die These, dass „[...] *die linke Hemisphäre nach einer Darbietung in der linken Gesichtsfeldhälfte »subvokal« zu zählen beginne und daß diese Signale von der rechten Hemisphäre wahrgenommen würden. Sobald die richtige Zahl erreicht sei, signalisiert die rechte Gehirnhälfte der linken, aufzuhören und die Ziffer laut auszusprechen*“ (Springer & Deutsch; 1995: 58).

8. Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse durch die Split-Brain Forschung

Im letzten Kapitel dieser Arbeit, halte ich es für angebracht, die wichtigsten Punkte nochmals hervorzuheben:

Der Split-Brain Forschung wurde durch die Durchführung partieller sowie kompletter Callosotomien ermöglicht, unser Gehirn genauer zu untersuchen und hemisphärenspezifische Eigenschaften den jeweiligen Gehirnhälften zuzuordnen. Insbesondere wurden sprachliche Fähigkeiten in den Fokus der Forschung gestellt, woraus die Neurolinguistik bis heute profitiert.

Wir wissen, dass ungefähr bei 95% der erwachsenen Menschen die linke Hemisphäre Sprachdominanz aufweist, während der Prozentsatz der rechtsdominanten Erwachsenen bei 1-2% liegt. Auch die Anzahl jener Menschen, bei denen in beiden Hemisphären Sprache nachgewiesen werden kann, ist nicht höher als jene der rechtdominanten (Huber & Poeck & Springer; 2006).

Solso (2005) gibt einen Überblick über die zerebralen Funktionen, wobei er der linken Hemisphäre die Intonation zuschreibt (siehe Tabelle 1). In diesem Punkt möchte ich Solso (2005) widersprechen, da bereits erwiesen wurde, dass die Intonation – ausgehend von den mehrheitlichen links-dominanten Menschen – in der rechten Hemisphäre lokalisiert ist.

Was aus der zahlreichen Literatur, die ich für diese Arbeit hinzugezogen habe, nicht ersichtlich hervorgeht, ist, ob Callosotomie Patienten durch die Diskonnektion der rechten und linken Hemisphäre eine monotone Sprechweise verfügen.

Da die Kooperation der beiden Gehirnhälften nicht mehr möglich ist, vermute ich, dass es zur gleichen prosodiefreien Ausdrucksweise kommt, wie sie Aphasie-Patienten aufweisen, resultierend aus rechtshirnigen Läsionen.

Leider konnte meine Vermutung trotz intensiver Recherche weder bestätigt, noch widerlegt werden.

Die rechte Hemisphäre trägt mehr zu unserer Kommunikation bei, als wir vermuten. Sie verfügt über lexikalische Semantik und einen umfassenden visuellen und auditiven Wortschatz, der in Bezug auf die Wortart variabel ist. Auch für das

Sinnverständnis von Humor und Metaphern ist die rechte Hemisphäre verantwortlich. Allerdings fehlt ihr die Fähigkeit zur Konversion von Graphemen und Phonemen.

Der Grund, warum bei Split-Brain Patienten kein Zusammenspiel mehr von linker und rechter Hemisphäre stattfinden kann, ist der Einschnitt in das Corpus Callosum, der Hauptverbindung, die den beiden Gehirnhälften ermöglicht, miteinander zu kommunizieren.

Dieser chirurgische Eingriff wird zum Teil noch heute durchgeführt, allerdings nur, wenn es sich um eine außerordentlich schwere Form der Epilepsie handelt, wie zum Beispiel dem Lennox-Gastaut Syndrom (siehe Kapitel 4).

Epilepsie hat nachweislich Einfluss auf die Sprachorganisation. Lenk (2001) berichtet von dem Patienten P.S., dessen epileptische Aktivitäten in der Kindheit Teile des linken Temporallappens und die Sprachzentren in Mitleidenschaft gezogen haben. Dadurch entwickelte seine rechte Hemisphäre Sprachfähigkeiten. P.S.s rechte Gehirnhälfte ist somit zur sprachlichen Verarbeitung befähigt und weist auch Lesefähigkeiten auf. Allerdings kann P.S. das Gelesene nicht verbal ausdrücken, sondern muss es mit seiner linken Hand schriftlich niederlegen, um zu kommunizieren, was er soeben gesehen oder gelesen hat (Lenk; 2001).

Epilepsie Patienten weisen eine atypische Sprachlateralisierung aufgrund morphologischer Anomalien auf, die durch epileptische Aktivität entstanden sind. Dabei ist anzumerken, dass eine Reorganisation kognitiver Fähigkeiten auch dann stattfindet, wenn die durch die Epilepsie entstandenen Anomalien die Sprachzentren nicht betreffen. Eine Reorganisation wie sie bei Vorschul- und Kindergartenkindern auftritt, erweist sich bei Kindern, die älter sind als fünf Jahre, schwieriger und weniger häufig.

Interessant sind auch die Ergebnisse von Chiron et al. (1997), die besagen, dass die rechte Hemisphäre bis zum 3. Lebensjahr die sprachdominante sei.

Die Frage, die ich mir hier stelle, ist, warum dann bei Kindern ab dem fünften Lebensjahr keine unproblematische Reorganisation mehr stattfinden kann, wenn das kindliche Gehirn doch gerade dabei ist, die sprachliche Dominanz in die linke Hemisphäre zu verlagern. Wenn dieser Vorgang wie Chiron et al. (1997) vermuten, vier bis acht Jahre dauert, dann sollte die Reorganisation doch mindestens bis zum

neunten Lebensjahr genauso verlaufen, wie bei einem Kind unter fünf Jahren, da der Dominanzwechsel noch nicht abgeschlossen ist.

Auch hier halte ich es für eine Notwendigkeit, intensive Forschung zu betreiben, da ich die Erklärung von Chiron et al. (1997) für zu ungenau und ausbaufähig halte.

Im Zuge meiner Recherche habe ich nur eine Studie eines rechtdominanten Patienten entdeckt. Lutsep et al. (1995) untersuchten in dieser Studie K.O., dessen Ergebnisse aussagekräftig genug sind, um sie jenen „typischer“ linksdominanter Patienten gegenüber zu stellen und zu vergleichen:

Tabelle 2: Gegenüberstellung der sprachlichen Fähigkeiten links- und rechtsdominanter Split-Brain Patienten

Funktionen	Rechtsdominante Patientin (K.O.)		Linksdominante Patienten (J.W.)	
	RH	LH	RH	LH
Benennen	✓			✓
Lesen	✓			✓
Auditives Verständnis	✓	✓		✓
Aktive Syntax	✓			✓
Passive Syntax	-	-	-	-

Tabelle 2 zeigt, dass sich die Überlegenheit der sprachlichen Funktionen bei beiden Gruppen auf jener Seite befindet, die die sprachdominante ist, wobei bei K.O. auch die linke Hemisphäre auditives Verständnis aufweist.

Eine berechnete Frage ist hier, ob K.O.s rechtshemisphärische sprachliche Kompetenzen von Geburt an entwickelt wurden oder ob diese sich im Zuge der epileptischen Aktivität reorganisiert haben, da K.O., die sich mit 9 Jahren einer Callosotomie unterzogen hatte, in dieser Arbeit die jüngste Patientin ist.

Die Relevanz des Alters, in dem eine Callosotomie durchgeführt wird, spielt zwar eine große Rolle, insbesondere für die Sprachreorganisation, jedoch lässt es sich nicht auf alle Patienten generalisieren.

L.B. war zum Zeitpunkt ihrer callosalen Diskonnektion 13 Jahre alt. Sie zählt zu den „atypischen“ Split-Brain Patienten, da bei ihr der semantischer Transfer, dem

eines gesunden Menschen gleicht (siehe Kapitel 7.3.7). Weiters konnte bei L.B. ein subcortikaler Transfer von lexikalischer Information nachgewiesen werden (siehe Kapitel 7.2). Ob dies nun das Resultat einer frühen Callosotomie ist oder die Erklärung von Mohr et al. (1994), dass lediglich die Information über motorische Reaktionen der Grund für ihre guten Ergebnisse sei, bleibt an dieser Stelle noch offen.

J.W. war 25 Jahre alt, als man seinen Balken chirurgisch durchtrennte. Er repräsentiert den „typischen“ Split-Brain Patienten. Man kann abgesehen von einem sehr langsam voranschreitenden rechtshemisphärischen Aufbau von Sprachkompetenzen, keinerlei ungewöhnliche Phänomene finden. Ähnlich wie bei V.P., die im Alter von 27 Jahren eine Callosotomie vornehmen ließ, jedoch rostrale und spleniale Fasern ausgespart wurden. Ich gehe davon aus, dass diese Patientin, hätte tatsächlich eine komplette Callosotomie stattgefunden, ebenso ein klassisches Beispiel für Split-Brain Patienten gewesen wäre wie J.W es ist.

V.J. repräsentiert hingegen alles andere als den klassischen Callosotomie Patienten. Obwohl sie linkshemisphärische Sprachkompetenzen aufweist, ist es ihr nicht möglich, mit der rechten Hand zu schreiben. Sie ist zwar Linkshänderin, jedoch sind linkshändige Patienten für gewöhnlich in der Lage, mit der rechten Hand zu schreiben bzw. das Schreiben mit der rechten Hand zu lernen. Baynes et al. (1998) vermuten daher, dass bei V.J. das Schriftsprachsystem separat in der rechten Hemisphäre lokalisiert ist, obwohl sie eine sprachdominante linke Hemisphäre aufweist. Diese Vermutung erklärt auch, warum sie mit der rechten Hand nicht schreiben kann.

Diese ungewöhnliche Beobachtung bei V.J. impliziert jedoch, dass die rechte Gehirnhälfte über lexikalisches und semantisches Wissen verfügen müsste, was bei V.J. tatsächlich zuzutreffen scheint.

Nun stellt sich die Frage, ob Phonologie und Orthographie voneinander abhängige oder unabhängige Systeme sind. Baynes et al. (1998) sind der Meinung, dass es möglich sei, dass neuronale Substrate, die die Schreibprozesse unterstützen sich von jenen, die gesprochene Sprache fördern, abgrenzen.

Dass die Fähigkeit zu schreiben sich in der nicht-dominanten Hemisphäre befinden kann, während alle anderen sprachlichen Fähigkeiten in der linken Hemisphäre lokalisiert werden, ist eine neue Erkenntnis, der sich die Forschung unbedingt intensiver widmen sollte.

Wie in Kapitel 7.1.1 erklärt, kommt es bei tachistoskopischen Untersuchungen häufig zu Reaktionen des Patienten, die er sich selbst nicht erklären kann. Um diese unbewusste Reaktion zu rechtfertigen, konfabuliert die linke Hemisphäre, um das Verhalten der rechten zu rechtfertigen. Gazzaniga (1988) nennt den Produzenten dieser Konfabulationen „*Interpretierer*“. Dieser Interpretierer konfabuliert aus dem „verbalen Ich“ aus dem Sprachzentrum, das eine Verbindung herstellt, um einen sinnvollen Zusammenhang für die Handlungen der rechten Hemisphäre herzustellen:

„Ein spezieller Interpretierer überblickt alle Handlungen und Gedanken, welche die zahlreichen Module hervorbringen, erzeugt Vermutungen, warum wir tun, was wir tun. Diese Hypothesen wiederum werden zu unseren Überzeugungen, zu unserer Sicht der Welt“ (Lenk; 2001: 104). Gazzanigas Hypothese stellt den Interpretierer folglich als Meta-Modul dar, das die eben genannten Funktionen ausführt und eine Art von Integrationsarbeit leistet (Lenk; 2001).

Abschließend möchte ich einen der wichtigsten Punkte in dieser Arbeit behandeln: das Corpus Callosum und sein Beitrag zu unserer Fähigkeit der sprachlichen Kommunikation.

Der Balken wird in der Neurolinguistik kaum zur Sprache gebracht, doch er ist einer der wichtigsten anatomischen Elemente, der uns dazu befähigt, so zu kommunizieren, wie es uns als gesunden Menschen erlaubt ist. Ohne dieser callosalen Verbindung wird es uns beträchtlich erschwert, sprachliche Äußerungen sinngemäß zu verarbeiten, zu verstehen und zu produzieren, da jede Hemisphäre für sich alleine arbeitet und die Informationen nicht an die andere weitergeben kann (Springer & Deutsch; 1995).

Für Split-Brain Patienten hat das Fehlen einer intakten Kommunikation zwischen den beiden Hemisphären auch im Alltag beträchtliche Folgen. V.J. konnte erst nach drei Jahren wieder ihre Unterschrift mit der linken Hand produzieren. Einkaufszettel konnte sie bis dahin immer noch nicht schreiben (Baynes et al.; 2004).

Unser ganzer Alltag basiert auf sprachlichen Interaktionen, Interaktionen unserer beiden Hemisphären und Interaktionen mit anderen Menschen. Die Bewältigung

eines solchen Alltags stellt für Callosotomie Patienten eine große Herausforderung dar.

Aus diesem Grund wäre es angebracht – gerade in der Neurolinguistik – dem Corpus Callosum eine größere sprachliche Bedeutung zuzuschreiben, als es im Moment noch der Fall ist.

Denn der Balken ermöglicht uns, unsere sprachlichen Fähigkeiten angemessen und ohne große Anstrengung einzusetzen.

9. Bibliografie

ASADI-POOYA, Ali/SHARAN, Ashwini/NEI, Maromi/SPERLING, Michael (2008): „Corpus Callosotomy” in: *Epilepsy and Behavior* Vol. 13, 271-278

BAYNES, Kathleen/ELIASSEN, James/LUTSEP, Helmi/GAZZANIGA, Michael (1998): „Modular Organization of Cognitiv Systems Masked by Interhemispheric Integration“ in: *Science* Vol. 280, 902-905

CHIRON, C./JAMBAQUE, I./NABBOUT, R./LOUNES, R./SYROTA, A./ DULAC, O. (1997): „The right brain Hemisphere is dominant in human infants” in: *Brain* Vol. 120, 1057-1065
zitiert nach Janzsky et al. (2003)

COGGINS, Porter/KENNEDY, Teresa/ARMSTRONG, Terry (2004): „Bilingual corpus callosum variability” in: *Brain and Language* Vol. 89, 69-75

COLVIN, Mary/FUNNELL, Margaret/GAZZANIGA, Michael (2005): „Numerical processing in the two hemispheres: Studies of a split-brain patient” in: *Brain and cognition* Vol. 57, 43-52

COHEN, L./DEHAENE, Stanislas (1996): “Cerebral networks for number processing: Evidence from a case of posterior callosal lesion” in: *Neurocase* Vol. 2, 155-173.
zitiert nach Karnath/Thier (2005)

COOK, Norman (1984): „Callosal Inhibition: The key to the Brain Code” in: *Behavioral Science* Vol. 29, 98-110
zitiert nach Springer, Sally/Deutsch, Georg (1995)

DEHAENE, Stanislas (1992): „Varieties if numerical abilities” in: *Cognition* Vol. 14, 1-42
zitiert nach Colvin et al. (2005)

DEHAENE, Stanilas/ BOSSINI, Serge/GIRAUX, Pascal (1993): „The mental representation of parity and number magnitude” in: *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol. 122, 371-396
zitiert nach Colvin et al. (2005)

FRIEDERICI, Angela/KOTZ, Sonja/STEINHAUSER, Karsten/VON CRAMON, Yves (2003): „The neural basis of the prosody-syntax interplay: „The role of the corpus callosum” in: *Brain and Language* Vol. 87, 133-134

FUNNELL, Margaret/CORBALLIS, Paul/GAZZANIGA, Michael (2000): „Cortical and subcortical Interhemispheric Interactions Following Partial and Complete Callosotomy” in: *Archive Neurology* Vol. 57; 185-189

FUNNELL, Margaret/CORBALLIS, Paul/GAZZANIGA, Michael (2000): “Insights to the functional specificity of the human corpus callosum” in: *Brain* Vol. 123; 920-926

GAZZANIGA, Michael (1988): „*Mind Matters: How Mind and Brain Interact to Create Our Conscious Lives*“. Boston: Houghton Mifflin

GAZZANIGA, Michael (1998): „Rechtes und linkes Gehirn: Split-Brain und Bewusstsein - Jahrzehntelange Studien an Patienten mit chirurgisch getrennten Großhirnhälften haben das Verständnis für den funktionellen Aufbau des Gehirns und das Wesen des Bewusstseins vertieft“ in: *Spektrum der Wissenschaft*, 12, 84-89

GAZZANIGA, Michael/SMYLIE, C. S./BAYNES, K./HIRST, W./MCCLEARY, C. (1984): „Profiles of right hemisphere language and speech following brain bisection” in: *Brain and Language* Vol. 22, 206–220.

GAZZANIGA, Michael/HILLYARD, S. (1971): „Language and Speech Capacity of the Right Hemisphere“ in: *Neuropsychologia* Vol. 9, 283-289
zitiert nach Springer, Sally/Deutsch, Georg (1995)

GAZZANIGA, Michael (2000): „Cerebral specialization and interhemispheric communication- Does the corpus callosum enable the human condition?“ in: *Brain* Vol. 123, 1293-1326

GERTZ, David (2003): „*Basiswissen Neuroanatomie*“. Stuttgart: Georg Thieme Verlag

GOLDENBERG, Georg (2007): „*Neuropsychologie- Grundlagen, Klinik , Rehabilitation*“. 4. Auflage; München/Jena: Elsevier Urban & Fischer

GRABOWECKY, Marcia/KINGSTONE, Alan (2004): „Can semantic information be transferred between hemispheres in the split-brain?“ in: *Brain and Cognition* Vol. 55, 310-313

HARTJE, Wolfgang/POECK, Klaus (1997): „*Klinische Neuropsychologie*“, 3. Auflage, Stuttgart: Thieme Verlag

JANZSKY, J./JOKET, H./HEINEMANN, D./SCHULZ, R./WOERMANN, F./EBNER, A. (2003): „Epileptic activity influences the speech organization in medial temporal lobe epilepsy“ in: *Brain* Vol. 126; 2043-2051

- KARNATH, Hans-Otto/THIER, Peter (2006): *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 583-585
- KIMURA, Doreen (1961): „Some Effects of Temporal Lobe Damage on Auditory Perception” in: *Canadian Journal of Psychology* Vol. 15, 156-165
zitiert nach Springer, Sally/Deutsch, Georg (1995)
- KRZOVSKA, Marija (2006): „*Neurologie*“. München/Jena: Elsevier Urban & Fischer
- LÁDAVAS, Elisabeth (2003). „Right Hemisphere Contribution to Word Recognition in Pure Alexia” in: ZAIDEL, Eran (Hrsg.)/IACOBONI, Marco (Hrsg.) *The parallel brain*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology; 497-499
- LAMBERT, A. (1991): „Interhemispheric interaction in the split-brain“ in: *Neuropsychologia* Vol. 29, 941-948
zitiert nach Grbowecky/Kingstone (2004)
- LENK, Hans (2001): „*Das Denken und sein Gehalt*“. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag
- LEVY, J./TREVARTHEN, C./SPERRY, Roger (1972): „Perception bilateral Chimeric Figures Following Hemispheric Disconnections” in: *Brain* Vol. 95, 61-78
zitiert nach Springer, Sally/Deutsch, Georg (1995)
- LUTSEP, Helmi L./WESSINGER, Mark C./GAZZANIGA, Michael S. (1995): „Cerebral and callosal organisation in a right hemisphere dominant split-brain patient“ in: *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 50-54
- LUZZATTI, Claudio G. (2003): „Optic Aphasia and pure Alexia: Contribution of callosal Disconnection Syndromes to the Study of Lexical and Semantic Representation in the right Hemisphere“ in: Zaidel, Eran/Iacoboni, Marco (eds.) *The parallel brain* Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 479-496
- MARCOTTE, A./MORERE D. (1990): „Speech lateralization in deaf populations: evidence for a developmental critical period” in: *Brain and Language* Vol. 39, 134-152
zitiert nach Janzsky et al. (2003)
- MOHR, Bettina/PULVERMÜLLER, Friedmann/RAYMAN, Janice/ZAIDEL, Eran (1994): „Interhemispheric cooperation during lexical processing is mediated by the corpus callosum: evidence from split-brain“ in: *Neuroscience Letters* Vol. 181, 17-21

- MOYER, R./LANDAEUR T. (1967): „Time required for judgements of numerical inequality” in: *Nature* Vol. 15, 1519-1520
zitiert nach Colvin et al. (2005)
- PASINI, M./TESSARI, A. (2001): „Hemispheric specialization in quantification processes” in: *Psychological Research* Vol. 65, 57-63
zitiert nach Colvin et al. (2005)
- REEVES, Alexander G. /RISSE, Gail (1995): „Neurological effects of callosotomy” in: REEVES, Alexander G./ROBERTS, David W. (eds.): *Epilepsy and the corpus callosum*. New York: Plenum Press, 241-152
- REICHERT, Heinrich (2000): „*Neurobiologie*“, 3. Auflage, Stuttgart: Thieme Verlag
- SOLSO, Robert (2005): „Kognitive Psychologie“, Heidelberg: Springer Verlag
- SPRINGER, Sally P./DEUTSCH Georg (1995): „*Linkes- Rechtes Gehirn*“, 3. Auflage, Heidelberg: Spektrum Akad. Verlag
- SPENCER, Susan/SPENCER Denise (1995): „Seizure types: Results of partial and complete callosotomy in adults“ in: REEVES, Alexander G./ROBERTS, David W. (eds.) (1995): *Epilepsy and the corpus callosum*. New York: Plenum Press, 145-151
- SULTAN, Fahad/GRÄBER, Susanne (2006): „Anatomie der kortikalen Verbindungen“ in: KARNATH, Hans-Otto/THIER, Peter (Hrsg.): *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 583-585
- TEMPLE, Christine (1993). „Sounds and Shapes: Language and Spatial Cognition in Callosal Agenesis“ in: Lassonde, M./Jeeves, J. (eds.): *Callosal Agenesis*. New York: Plenum Press
zitiert nach Springer, Sally/Deutsch, Georg (1995)
- TRAMO, M.J./BAYNES K./FENDRICH, R./MANGUN G.R./PHELPS, E.A./REUTER-LORENZ, P.A./GAZZANIGA, Michael (1995): „Hemispheric specialisation and interhemispheric integration: Insights from experiments with commissurotomy patients” in: REEVES, Alexander G./ ROBERTS, David W. (eds.): *Epilepsy and the corpus callosum*. New York: Plenum Press, 263-293
- WITELSON, Sandra/KIGAR, Debra (1988): „Anatomical Developement of the Corpus Callosum in Humans: A Review with Reference to Sex and Cognition“ in: MOLFESE, Dennis/ SEGALOWITZ, Sidney (eds.) (1988): *Brain Lateralization in Children- Developmental Implications*. New York: The Gilford Press, 36-45
zitiert nach Springer, Sally/Deutsch, Georg (1995)

YAMAGUCHI, T./KUNIMOTO, M./PAPPATA, S./CHAVOIX, C./BROUILLET, E./RICHE, D./MAZIERE, M./NAGUET, R./MACKENZIE, E. T./BARON, J. C. (1990): „Effects of anterior corpus callosum section on cortical glucose utilization in baboons” in: *Brain* Vol. 113, 937-951.

zitiert nach Springer, Sally/Deutsch, Georg (1995)

ZAIDEL, Eran/IACOBONIE, Marco (2003): „The Case Study of Pure Alexia: Sensorimotor Integration in the Split Brain” in: ZAIDEL, Eran/IACOBONI, Marco (eds.): *The parallel brain*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 515-521

ZAIDEL, Eran (1982): „Reading by the disconnected hemisphere: An aphasiological perspective” in: ZOTTERMAN, Y. (eds.) (1982): *Dyslexia: Neuronal, cognitive and linguistic aspects*. Oxford: University Press: Wenner-Gren Symposium Vol. 35, 67-94

zitiert nach Zaidel/Iacobinie (2003)

ZAIDEL, Eran (1990): „Language functions in the two hemispheres following complete cerebral commissurotomy and hemispherectomy” in: BOLLER, F./GRAFMAN, G. (eds.) (1990): *Handbook of Neuropsychology*. New York: Elsevier Science Publishers; Vol. 4, 115-150

zitiert nach Lâdavas (2003)

10. Anhang

10.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Z-Linse	8
Abbildung 2: Erklärung der Z-Linse	9
Abbildung 3: das Corpus Callosum und seine Bestandteile	12
Abbildung 4: Entwicklung des Corpus Callosums	15
Abbildung 5: Balkenmodell nach Cook (1984)	19
Abbildung 6: Kimuras Modell des dichotischen Hörens	36
Abbildung 7: Tachistoskopisches Verfahren	45
Abbildung 8: Beispiel für Experiment 1:	48
Abbildung 9: Produktionen der linken und rechten Hand von V.J.	56
Abbildung 10: Schriftliche und verbale Reaktionen	57

10.2 Zusammenfassung

In der vorliegenden Diplomarbeit „Split-Brain – Sprachdefizite als Folge callosaler Diskonnektion“ wird ein Einblick in die komplexe Struktur des Corpus Callosums und seine Relevanz für verbale und schriftliche Kommunikation gegeben.

Das Corpus Callosum ist die Hauptverbindung zwischen linker und rechter Hemisphäre und ermöglicht uns, gesprochene sowie geschriebene Sprache zu produzieren und sinngemäß zu verstehen.

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, dass durch eine Trennung dieser Verbindung (Callosotomie, Split-Brain Operation) unsere Kommunikationsfähigkeit enorm eingeschränkt wird.

Anhand zahlreicher Studien mit Split-Brain Patienten werden alle sprachlichen Defizite, die nach einer Callosotomie auftreten (Alexie, Agraphie, etc.) sowie Auffälligkeiten in der Prosodie, Syntax und Semantik erläutert.

Weiters werden die Defizite von links-dominanten Split-Brain Patienten jenen von rechts-dominanten Patienten gegenübergestellt und auf die Sprachreorganisation genauer eingegangen.

10.3 Abstract

The paper „Split-Brain – Sprachdefizite als Folge callosaler Diskonnektion“ gives insight into the complex structure of the corpus callosum and its relevance for verbal and written communication.

The corpus Callosum is the most important fiber-system connecting right and left hemisphere and allows to produce and to understand written and spoken language correctly.

This paper shows that a disconnection of this fiber-system (Callosotomy, Split-Brain surgery) causes a high constricted ability to communicate.

On the basis of various studies by testing split-brain patients all languagal deficits which result after Callosotomy (Alexia, Agraphia, etc.) as well as abnormalities in prosody, syntax and semantics are illustrated. Furthermore these deficits of left-dominant patients are contrasted with these deficits of right-dominant patients concentrating on speech-reorganization.

10.4 Curriculum Vitae

Persönliche Daten

Name: Bauer Martina
Geburtsdatum: 18.02.1987
Geburtsort: Wien, Österreich
Staatsbürgerschaft: Österreich

Ausbildung

seit 02/2010: **Akademie für Legasthenie-Therapie, Dyskalkulie-Therapie und Lerncoaching**
Ausbildung zur Legasthenie- und Dyskalkulie-Therapeutin

seit 2006: Universität Wien
Studium der Sprachwissenschaft
Schwerpunkt: Psycho-, Patho-, Neurolinguistik

2001-2006: Höhere Bundeslehranstalt für wirtschaftliche Berufe, Wien
Schwerpunkt: Sozialverwaltung

1997-2001: Privatinstitut Neulandschule Hauptschule, Wien

1993-1997: Privatinstitution Neulandschule Volksschule, Wien

Praktika

WS 2008/2009	Neurologisches Zentrum Rosenhügel (Wien) Praktikum in der 1. Neurologischen Abteilung im Neurologischen Zentrum Rosenhügel im Ausmaß von einer Woche bei Mag. Heinz Karl Stark
02/2009	Neurologisches Zentrum Rosenhügel (Wien) Praktikum im Ausmaß von 3 Semesterwochenstunden im Rahmen der Lehrveranstaltung „Neurolinguistisches Praktikum“ an der Universität Wien bei Mag. Heinz Karl Stark
WS 2009/2010	Praktikum im Ausmaß von 3 Semesterwochenstunden im Rahmen der Lehrveranstaltung „Patholinguistisches Praktikum“ an der Universität Wien bei Mag. Heinz Karl Stark

Sprachkenntnisse:

Deutsch:	Muttersprache
Englisch:	Maturaniveau
Französisch:	Maturaniveau